

КОМПЬЮТЕРЛІК ЖЕЛІЛЕР

1

COMPUTER NETWORKS

FIFTH EDITION

ANDREW S. TANENBAUM

*Vrije Universiteit
Amsterdam, The Netherlands*

DAVID J. WETHERALL

*University of Washington
Seattle, WA*

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ**

**Эндрю С. Таненбаум
Дэвид Дж. Уэзеролл**

КОМПЬЮТЕРЛІК ЖЕЛІЛЕР

1

Оқулық

Алматы, 2013

ӘОЖ 004. (075.8)
КБЖ 32.973 я 73
Т 18

*Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің «Оқулық»
республикалық ғылыми-практикалық орталығы бекіткен*

Қазақ тіліне аударған
А. М. Махметова, С. Б. Беркімбаева

Т 18 **Таненбаум Э. С., Уэзеролл Д. Дж. Компьютерлік желілер. 1-бөлім:**
Оқулық /Ауд. А. М. Махметова, С. Б. Беркімбаева. – Алматы, 2013.

ISBN 978-601-217-444-1

1-бөлім – 552 б.

ISBN 978-601-217-445-8

Алдарыңызда қазіргі заманғы желілік технологиялар бойынша танымал эксперт Эн-дрю Таненбаумның Вашингтон университетінің профессоры Дэвид Уэзероллмен бірлесіп жазған беделді оқулығының бесінші басылымы. Қазіргі кезде классикаға айналған бұл оқулықтың алғашқы басылымы 1980 жарық көрген болатын.

Оқулықта компьютерлік желілердің даму беталысы және қазіргі қалып-күйін анықтайтын негізгі тұжырымдамалар берілген. Авторлар программалық және аппараттық жабдықтамалардың жұмыс қағидаларын, құрылымын, желілер ұйымдастырылуының барлық тұстарын және деңгейлерін – физикалық деңгейден бастап қолданбалы деңгейге дейін егжей-тегжейлі түсіндірген. Теориялық қағидалардың баяндалуы Интернет және әртүрлі типтегі компьютерлік желілердің жұмысындағы айқын, тәжірибелік мысалдармен толықтырылған. Бесінші басылым желілік технологиялар саласындағы соңғы өзгерістерді, нақтырақ 802.12 және 802.16 сымсыз желі стандарттарын, 3G желілерін, RFID технологиясын, CDN контентін жеткізу инфрақұрылымын, пирингтік желілер, ағындық таратылымдар, интернет-телефония және тағы да басқа көптеген жаңалықтарды есепке алып қайта өңделген.

ӘОЖ 004. (075.8)
КБЖ 32.973 я 73

ISBN 978-601-217-445-8 – (1-бөлім)
ISBN 978-601-217-444-1

© 2011, 2003, 1996, 1989, 1981 Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall. All rights reserved
© Қазақ тіліндегі басылым, ҚР жоғары оқу орындарының қауымдастығы, 2013

*Сюзанаға, Барбараға, Даниэльге, Аронға, Марвинге, Матильдаға,
және Брэм мен Кішкентайдың естелігіне арналады (А.С.Т.)*

Катринге, Люсиге, және Пепперге (Д.Дж.У.)

МАЗМҰНЫ

Қазақ басылымына алғы сөз.....	12
Алғы сөз.....	13
1. КІРІСПЕ.....	17
1.1. КОМПЬЮТЕРЛІК ЖЕЛІЛЕРДІҢ ҚОЛДАНЫСЫ.....	19
1.1.1. Мекемелердегі желілер.....	19
1.1.2. Үй қосымшалары.....	22
1.1.3. Ұтымды тұтынушылар.....	27
1.1.4. Әлеуметтік аспект.....	31
1.2. ЖЕЛІЛІК ЖАБДЫҚТАР.....	35
1.2.1. Дербес желілер.....	36
1.2.2. Жергілікті желілер.....	37
1.2.3. Муниципалды желілер.....	41
1.2.4. Ғаламдық желілер.....	43
1.2.5. Желілерді біріктіру.....	47
1.3. ЖЕЛІЛІК ПРОГРАММАЛЫҚ ЖАБДЫҚТАУ.....	48
1.3.1. Хаттамалардың бағынышсатылары.....	48
1.3.2. Деңгейлерді өңдеу.....	53
1.3.3. Жалғауға негізделген және жалғауы орнатылмаған қызметтер.....	55
1.3.4. Примитивтер сервисі.....	58
1.3.5. Қызметтер және хаттамалар.....	60
1.4. ЭТАЛОНДЫҚ МОДЕЛЬДЕР.....	61
1.4.1. OSI эталондық моделі.....	61
1.4.2. TCP/IP эталондық моделі.....	65
1.4.3. Кітапта қолданылатын модел.....	68
1.4.4. OSI және TCP эталондық модельдерін салыстыру.....	69
1.4.5. OSI моделі және оның хаттамаларына сындар.....	71
1.4.6. TCP/IP эталондық моделіне айтылған сындар.....	74
1.5. ЖЕЛІЛЕР МЫСАЛДАРЫ.....	75
1.5.1. Интернет.....	75
1.5.2. Үшінші буынның ұялы телефон желісі.....	86
1.5.3. Сымсыз ЖЕЖ: 802.11.....	92
1.5.4. RFID және сенсорлық желілер.....	96
1.6. ЖЕЛІЛЕРДІ СТАНДАРТТАУ.....	98
1.6.1. Телекоммуникация әлемінде кімнің кім екендігі.....	99

1.6.2. Халықаралық стандарттар әлемінде кімнің кім екендігі.....	101
1.6.3. Интернет стандарттары әлемінде кімнің кім екендігі.....	103
1.7. ӨЛШЕМ БІРЛІКТЕРІ	105
1.8. КЕЛЕСІ ТАРАУЛАРДЫҢ ҚЫСҚАША МАЗМҰНЫ.....	106
1.9. ТҮЙІН.....	108
2. ФИЗИКАЛЫҚ ДЕҢГЕЙ.....	114
2.1. ДЕРЕКТЕРДІ ТАСЫМАЛДАУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ	115
2.1.1. Фурье қатарлары	115
2.1.2. Шектеулі спектрлі сигналдар	116
2.1.3. Арна арқылы деректі тасымалдаудың максималды жылдамдығы	119
2.2. АҚПАРАТТЫ ТАСЫМАЛДАУДЫҢ СЫМДЫҚ ОРТАСЫ	121
2.2.1. Магнитті тасушылар.....	121
2.2.2. Есілген жұп.....	122
2.2.3. Коаксильді кабель	124
2.2.4. Электроқоректену сымдары	125
2.2.5. Талшықты оптика	126
2.3. СЫМСЫЗ БАЙЛАНЫС	133
2.3.1. Электромагниттік спектр.....	133
2.3.2. Радиобайланыс	137
2.3.3. Микротолқындық диапазондағы байланыстар.....	139
2.3.4. Инфрақызыл диапазонда тасымалдау.....	144
2.3.5. Көрінетін диапазондағы байланыс.....	144
2.4. БАЙЛАНЫС СЕРІКТЕРІ	146
2.4.1. Геоостационарлық серіктер.....	148
2.4.2. Орташа биікті серіктер	152
2.4.3. Төменгі орбитадағы серіктер.....	152
2.4.4. Серіктер оптоталшыққа қарсы.....	155
2.5. ЦИФРЛЫҚ МОДУЛЯЦИЯ ЖӘНЕ МУЛЬТИПЛЕКСТЕУ	157
2.5.1. Төменгі жиілікті тарату	157
2.5.2. Өткізу жолағында тасымалдау	162
2.5.3. Жиілік тығыздалу.....	165
2.5.4. Уақытты тарату негізінде мультиплекстеу.....	167
2.5.5. CDM- арналардың кодқа бөлінуі.....	168
2.6. ЖАЛПЫ ҚОЛДАНЫСТАҒЫ КОММУТАЦИЯЛАУШЫ ЖЕЛІ	171
2.6.1. Телефон жүйесінің құрылымы.....	172
2.6.2. Телефония саясаты.....	175
2.6.3. Жергілікті байланыс желілері: модемдер, ADSL, сымсыз байланыс.....	177
2.6.4. Магистральдер және мультиплекстеу	186
2.6.5. Коммутация (тізбектегі электр тогының бағытын өзгерту)	195
2.7. ҰЯЛЫ ТЕЛЕФОН ЖҮЙЕСІ.....	200
2.7.1. Бірінші буынның ұялы телефондары: сөзді аналогтік тасымалдау	201

2.7.2. Мобильді телефондардың екінші буыны: дауысты сандық тасымалдау (G2).....	205
2.7.3. Үшінші буын мобильді телефондары: сандық дауыс және деректер.....	210
2.8. КАБЕЛЬДІ ТЕЛЕДИДАР	215
2.8.1. Абоненттік теледидар	215
2.8.2. Кабельді Интернет.....	216
2.8.3. Жиілікті тарату	218
2.8.4. Кабельді модем	219
2.8.5. ADSL әлде кабель?	222
3. АРНАЛЫҚ ДЕҢГЕЙ	230
3.1 АРНАЛЫҚ ДЕҢГЕЙДІҢ ҰЙЫМДАСТЫРЫЛУЫНДАҒЫ НЕГІЗГІ АСПЕКТІЛЕР	231
3.1.1. Желілік деңгейге көрсетілетін қызметтер	231
3.1.2. Кадрлардың құрылуы.....	233
3.1.3. Қателерді өңдеу.....	237
3.1.4. Ағынды басқару.....	238
3.2. ҚАТЕЛЕРДІ ТАБУ ЖӘНЕ ЖӨНДЕУ	239
3.2.1. Қателерді жөндеуші кодтар.....	241
3.2.2. Қателерді табатын кодтар.....	247
3.3. АРНАЛЫҚ ДЕҢГЕЙДЕ ДЕРЕКТЕР ТАСЫМАЛДАЙТЫН ҚАРАПАЙЫМ ХАТТАМАЛАР.....	253
3.3.1. «Утопия» симплексті хаттамасы	257
3.3.2. Қателіксіз арналарға арналған күтуші симплексті хаттама.....	259
3.3.3. Шулы арналар үшін күтуші симплексті хаттама.....	260
3.4 СЫРҒЫМАЛЫ ТЕРЕЗЕ ХАТТАМАСЫ.....	263
3.4.1. Бір битті сырғымалы терезе хаттамасы	266
3.4.2 <i>n</i> шамасына қайтымды хаттама.....	269
3.4.3. Таңдаулы қайталамалы хаттама.....	276
3.5. ДЕРЕКТЕРДІ ТАСЫМАЛДАУ ХАТТАМАЛАРЫНЫҢ МЫСАЛДАРЫ.....	281
3.5.1. Деректерді SONET хаттамасы бойынша тасымалдау.....	282
3.5.2. ADSL.....	285
4. ОРТАҒА ҚОЛЖЕТКІЗУДІ БАСҚАРУДЫҢ ІШКІ ДЕҢГЕЙІ.....	293
4.1. АРНА ТАРАТУ МӘСЕЛЕСІ	294
4.1.1. Арнаны статикалық тарату	294
4.1.2. Арнаны динамикалық таратумен байланысты жорамалдар	296
4.2. КӨПШІЛІК ҚОЛЖЕТКІЗУ ХАТТАМАЛАРЫ	298
4.2.1. ALOHA жүйесі.....	298
4.2.2. Тасымалдаушыны бақылап көпшілік қолжеткізу хаттамасы	303
4.2.3. Қақтығыссыз хаттамалар	307
4.2.4. Бәсекелестігі шектелген хаттамалар	311
4.2.5. Сымсыз жергілікті желілер хаттамасы.....	315
4.3. ETHERNET ЖЕЛІСІ	318
4.3.1. Классикалық Ethernet желісінің физикалық деңгейі.....	319
4.3.2. Классикалық Ethernet-гі ортаға қол жеткізуді басқару ішкі	

деңгейінің хаттамасы	320
4.3.3. Ethernet желісінің өнімділігі	324
4.3.4. Коммутацияланатын Ethernet желілері.....	327
4.3.5. Fast Ethernet.....	329
4.3.6. Gigabit Ethernet.....	332
4.3.7. 10-гигабиттік Ethernet.....	336
4.3.8. Ethernet өткеніне шолу.....	338
4.4. СЫМСЫЗ ЖЕРГІЛІКТІ ЖЕЛІЛЕР	340
4.4.1. 802.11 стандарты: құрылымы және хаттамалар стегі.....	340
4.4.2. 802.11 стандарты: физикалық деңгей.....	342
4.4.3. 802.11 стандарты: ортаға қол жеткізуді басқару ішкі деңгейінің хаттамасы	344
4.4.4. 802.11 стандарты: кадр құрылымы	351
4.4.5. Қызметтер	353
4.5. КЕҢЖОЛАҚТЫ СЫМСЫЗ ЖЕЛІЛЕР	355
4.5.1. 802.16 стандартын 802.11 және 3G-мен салыстыру.....	356
4.5.2. 802.16 стандарты: құрылымы және хаттамалар стегі	357
4.5.3. 802.16 стандарты: физикалық деңгей.....	359
4.5.4. 802.16 стандарты: MAC ішкі деңгейінің хаттамалары	361
4.5.5. 802.16 стандарты: кадр құрылымы	363
4.6. BLUETOOTH	364
4.6.1. Bluetooth құрылымы	364
4.6.2. Bluetooth қосымшалары.....	365
4.6.3. Bluetooth: хаттамалар жиынтығы	367
4.6.4. Bluetooth: радиобайланыс деңгейі	368
4.6.5. Bluetooth: модульденбеген тасымалдау деңгейі.....	369
4.6.6. Bluetooth: кадр құрылымы	370
4.7. RFID.....	372
4.7.1. EPC Gen 2 құрылымы	373
4.7.2. EPC Gen 2 физикалық деңгейі	374
4.7.3. EPC Gen 2 белгілерін теңдестіру деңгейі	375
4.7.4. Белгілерді теңдестіру мәліметтерінің форматы.....	377
4.8. АРНАЛЫҚ ДЕҢГЕЙДЕГІ КОММУТАЦИЯЛАУ	378
4.8.1. Көпірлерді қолдану	378
4.8.2. Үйренуші көпірлер	379
4.8.3. Байланыстырушы ағаш көпірлері.....	383
4.8.4. Қайталауыштар, концентраторлар, көпірлер, коммутаторлар, маршруттауыштар және шлюздер	386
4.8.5. Виртуалды жергілікті желілер	389
4.9. ТҮЙІНДЕМЕ.....	396
5. ЖЕЛІЛІК ДЕҢГЕЙ	402
5.1. ЖЕЛІЛІК ДЕҢГЕЙДІ ЖОБАЛАУ СҰРАҚТАРЫ	402
5.1.1. Дестелерді күтумен коммутациялау тәсілі	403
5.1.2. Транспорттық деңгейге ұсынылатын қызметтер	403
5.1.3. Байланыссыз қызмет көрсетуді іске асыру.....	405
5.1.4. Байланыспен қызмет көрсетуді іске асыру.....	407

5.1.5. Виртуалды арна желісін және дейтаграммалық желіні салыстыру	408
5.2. МАРШРУТТАУ АЛГОРИТМДЕРІ	410
5.2.1. Маршруттың тиімділік принципі	412
5.2.2. Ең қысқа жолды табу алгоритмі	413
5.2.3. Құю	417
5.2.4. Арақашықтық векторы бойынша маршруттау	418
5.2.5. Торап қалып-күйін есепке ала отырып маршруттау	421
5.2.6. Иерархиялық маршруттау	427
5.2.7. Кеңтаратылымды маршруттау	429
5.2.8. Көп адресі тарату	431
5.2.9. Еркін маршруттау	435
5.2.10. Мобильді хосттар үшін маршруттау алгоритмі	436
5.2.11. Еркін желілерді маршруттау	439
5.3. АСЫРА ЖҮКТЕУМЕН КҮРЕСУ АЛГОРИТМДЕРІ	443
5.3.1. Асыра жүктеумен күресу амалдары	445
5.3.2. Трафик қалып-күйін ескере отырып маршруттау	446
5.3.3. Қол жеткізуді басқару	448
5.3.4. Трафикті реттеу	449
5.3.5. Жүктемені түсіру	454
5.4. ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ САПАСЫ	456
5.4.1. Қосымшалар талабы	457
5.4.2. Трафикті құрастыру	459
5.4.3. Дестелерді диспетчерлендіру	463
5.4.4. Қолжеткізуді басқару	467
5.4.5. Интегралды қызмет көрсету	471
5.4.6. Дифференциалды қызмет көрсету	475
5.5. ЖЕЛІЛЕРДІ БІРІКТІРУ	478
5.5.1. Желілер ерекшелігі	479
5.5.2. Желілерді біріктіру тәсілдері	481
5.5.3. Туннельдеу	484
5.5.4. Біріккен желілердегі маршруттау	485
5.5.5. Дестелерді фрагменттеу	486
5.6. ИНТЕРНЕТ ЖЕЛІЛІК ДЕҢГЕЙІ	490
5.6.1. IP хаттамасы, 4-версия	493
5.6.2. IP-адрестер	497
5.6.3. IP 6-версия хаттамасы	511
5.6.4. Интернеттің басқарушы хаттамалары	522
5.6.5. Белгілерді коммутациялау және MPLS	527
5.6.6. Ішкі OSPF шлюз хаттамасы	531
5.6.7. BGP сыртқы шлюз хаттамасы	536
5.6.8. Интернеттегі көп адресі тарату	542
5.6.9 Мобильді IP	543
5.7 ТҮЙІНДЕМЕ	545

ҚАЗАҚ БАСЫЛЫМЫНА АЛҒЫ СӨЗ

Біз қазақстандық оқырмандарға жалынды сәлемімізді жеткізгіміз келеді. Әлем жылдам өзгеруде және өзгерістердің көпшілігі компьютерлік желілер арқылы жасалуда. Көптеген елдерде байланыс e-mail, IP, дауыс сияқты телефондық қызметтерді қосатын Интернет арқылы жасалуда. Фэйсбук сияқты қоғамдық желілер де бұрын мүмкін болмаған байланысты ұсынып, адамдарды байланыстыруда. Мысалы, қазір адамдар алыстағы туысқандарымен суреттер мен видеоларын бөлісуге мүмкіндік алды, сонымен бірге веб сайттардан жаңалық қарап, денсаулық ақпаратын, ауа райы болжамын мен жұмыс іздейді. Миллиондаған адамның жеке блогы бар және одан да көп адамдар блогты оқиды. Теледидардан Интернетке көшу кезеңі басталды. Кинолар, роликтер Интернет арқылы тасымалдануда. Бұл күндері электронды e-кітаптар сатып алу қалыпты үрдіске айналып бара жатыр. Шындығында, Амазон қағаз кітаптан гөрі e-кітаптарды көбірек сататынын айтуда. Музыка, одан басқа киімдер де Интернет арқылы сатылып алынады. Смартфон қолданушылардың санының өсуіне байланысты қай жерде және қай кезде болма-сын қолданушылардың Интернетке кіру мүмкіндігі өсті. Көптеген адамдар банктік қызметті және төлемақыларды да Интернет арқылы төлеуде. Адамдар EBay сияқты веб сайттарда қолданылған ескі өнімдерді сата алады. Мектептер оқу-білім материалдарын онлайн қоюда. Санай берсек, тізімнің соңына жетпейміз.

Әлемдік дамуға ілесу үшін Қазақстан халқы ұлттық желілерді түсініп, жа-сау керек және осы желілерді Интернетпен байланыстырып, техника мен жағдай өзгерісіне үйлесе білуі керек. Бұл оқулықтың қазақ тіліндегі нұсқасына ие болу арқылы қазақстандық студенттер компьютерлік желі саласындағы дамуға өз үлесін қосады деп сенеміз. Тақырыптар өте қызық және сіз оқулықтан көп нәрсе үйренеді деп үміттенеміз.

*Эндрю С. Таненбаум
Дэвид Дж. Уэзеролл*

АЛҒЫ СӨЗ

Міне, бұл оқулықтың бесінші басылымы да жарыққа шықты. Оқулықтың әр басылымы өз кезеңіндегі компьютерлік желілердің дамуына сәйкес келеді. 1980 жылы бірінші басылымы жарық көрді, ол кезде желі академиялық таңғажайып нәрсе еді. Екінші басылым 1988 жылы желілік технологиялардың университеттер мен үлкен бизнесте қолданыла бастаған кезіне сәйкес келді. 1996 жылы үшінші басылым шықты. Бұл кезде желілер, әсіресе, Интернет желісі миллиондаған халық үшін күнделікті нақты тірлік түріне айналған кез еді. Төртінші басылымда, 2003 жылы, сымсыз желілер мен ұтымды Интернет пайда болды. Бесінші басылымда Интернет жазықтықтарындағы кішкене компьютерлер ретінде контенттің таралу, мысалы, CDN және біррангілі желілерді қолданатын бейне, сұрақтарын қарастыру қажет болды.

Бесінші басылымдағы жаңа дүниелер

Бұл оқулықтағы көптеген өзгерістердің ішіндегі маңыздысы, кітаптың тағы бір авторы – профессор Дэвид Уэзероллдың қосылуында. Дэвидтің желілермен айналысқанына 20 жылдан астам уақыт болды. Ол осы уақытқа дейін Интернет және сымсыз желілермен айналысады. Соңғы он жылда Дэвид Уэзеролл Вашингтон университетінің профессоры қызметін атқарады, ол жерде компьютерлік желілер мәселелерімен айналысып, дәріс оқиды.

- Әрине, компьютерлік желілер әлемінде болып жатқан өзгерістер:
- Сымсыз желілер (802.12 және 802.16);
- смартфондар пайдаланатын 3G-желілер;
- RFID және сенсорлы желілер;
- CDN арқылы контентті тарату;
- біррангілі желілер;
- шынайы уақыт режимінде жұмыс істейтін медиа;
- интернет-телефония (IT-телефония);
- кідірістерге орнықты желілер кітапқа әсерін тигізбей қоймады.

Әр тарауда қарастырылатын тақырыптардың анағұрлым толық тізімі төменде келтірілген.

1-тарау 4-басылымдағы сияқты кіріспе қызметін атқарады, бірақ мазмұны қайта тексеріліп, заманауи қалыпқа келтірілген. Интернет, ұялы телефон желілері, 802.11, RFID және сезімтал желілер компьютерлік желілердің мысалы есебінде қарастырылған. Ethernet және вампирчиктерге қатысты негізгі материал банкоматқа қатыста материалдармен бірге алынып тасталған.

2-тарау физикалық деңгейді қамтиды, сонымен қатар сандық модуляция (OFDM-кеңінен қолданылатын сымсыз желімен бірге) және 3G – желілер (негізі CDMA болатын) кеңінен қамтылған. Үй және сызықтық элетротасымалдау желілеріне талшық қосудың жаңа технологиялары талқыланған.

3-тарау нүктеден нүктеге сілтеме жайлы және тақырып 2 түрлі жолмен жақсартылған. Кодтағы қателерді табу және қателерді дұрыстау жайлы материалдар жаңартылған және тәжірибеде қолданылатын заманауи кодтардың (мысалы, жыймалы және LDPC кодтар) қысқаша сипаттамасын қамтыған. Қолданылу аясының тарлығына байланысты SONET арқылы дестелер және ADSL хаттамаларының мысалдары алынып тасталған.

4-тарау MAC деңгейшелері жайлы қағидалары қазіргі уақытқа сәйкес емес, бірақ технологиялары өзгертілген. Желі мысалдары бөлімі гигабиттік Ethernet, 802.11, 802.16, Bluetooth және RFID кірістіре отырып, керегінше қайта жасалған. LAN ауыстырып қосқыштары VLAN-мен бірге қамтылып жаңартылған.

5-тарау желілік деңгей жайлы және *4-басылымдағы* тақырыптарды толығымен қамтиды. Қызметтің сапасы мен (заманауи медиаға қатысты) интернеторкингке қатысты материалдар жаңартылған және ұлғайтылған. Бірнеше адрестік маршруттаудың өңделуіне байланысты BGP, OSPF және CIDR-ге қатысты бөлімдер ұлғайтылған және эникастілік маршруттау тақырыбы қосылған.

Компьютерлік тақырыптарға арналған басылымдарда қысқартулар көп кездеседі. Бұл кітап та олардан ерекше емес. Кітапты оқып шыққаннан кейін сіз келесі:

ADSL, AES, AJAX, AODV, AP, ARP, ARQ, AS, BGP, BOC, CDMA, CDN, CGI, CIDR, CRL, CSMA, CSS, DST, DES, DHCP, DNT, DIFS, DMCA, DMT, DMZ, DNS, DOCSIS, DOM, DSLAM, DTN, FCFS, FDD, FDDI, FDM, FEC, FIFO, FSK, FTP, GPRS, GSM, HDTV, HFC, HMAC, HTTP, IAB, ICAAN, ICMP, IDEA, IETE, IMAP, IMP, IP, IPTV, IRTF, ISO, ISP, ITU, JPEG, JSP, JVM, LAN, LATA, LEG, LEO, LLC, LSR, LTE, MAN, MFJ, MIME, MPEG, MPLS, MSC, MTSO, MTU, NAP, NAT, NRZ, NSAP, OFDM, OSI, OSPF, PAWS, PCM, PGP, PIM, PKI, POP, POTS, PPP, PSTN, QAM, QPSK, RED, RFC, RFID, RPC, RSA, RTSP, SHA, SIP, SMTP, SNR, SOAP, SONET, SPE, SSL, TCP, TDD, TDM, TSAP, UDP, UMTS, URL, VLAN, VSAT, WAN, WDM және XML сияқты аббревиатураларды жеңіл қолдана алатын боласыз. Бірақ қобалжымаңыз. Олардың әрқайсысы қалың қаріппен ерекшеленіп, қолданбас бұрын мұқият анықталатын болады. Қызықты тест ұйымдастыру үшін кітапты оқып шықпастан бұрын қанша аббревиатура анықтай алатыныңызды белгілеп, әрекетіңізді кітапты оқып шыққан соң қайталасаңыз болады.

Оқулықты пайдалану ережесі

Оқытушыларға оқулықты пайдалануға арналған көмек. Тоқсан мен семестрге арналған тақырыптар негізгі және қосымша материалдар ретінде бөлінген. Мазмұнында «*» белгіленген бөлімдер міндетті емес бөлімдер болып саналады. Егер негізгі бөлім (мысалы, 2.7), осылайша белгіленсе оның барлық бөлімшелері міндетті емес болып табылады. Олар желі технологиялары жайындағы пайдалы материалдармен қамтамасыз етілген, алайда, ол қысқа курстан үзіліссіз алынып тасталған болуы мүмкін. Бірақ ол материалдарды студенттерге уақыттарын ескере отырып оқуға кеңес беру керек. Себебі барлық материалдар өзекті және құнды болып табылады.

Оқытушының материалдар қоры

Төменде көрсетілген оқытушының қорғалған материалдар қорын www.pearsonhighered.com/tanenbaum баспа веб сайтынан көре аласыз. Пайдаланушының аты мен құпия сөзі бойынша жергілікті өкілге хабарласыңыз.

- оқу нұсқаулары
- PowerPoint слайд дәрістері

Студенттің материалдар қоры

Төменде көрсетілген студенттерге арналған ашық қорды: www.pearsonhighered.com/tanenbaum сілтемеден көре аласыз.

- Веб қорлар, оқулыққа сілтемелер, ұйымдастырулар, жиі қойылатын сұрақтар және т.б.
- Сандар, кестелер және кітаптан алынған бағдарламалар
- Стенография
- Модельдеудің хаттамасы

АЛҒЫС

Оқулықтың бесінші басылымын шығару барысында бізге ұсынған идеялары мен пікірлері үшін көптеген жайсаң адамдарға: Эммануэл Агу (Emmanuel Agu, Worcester Polytechnic Institute), Иорис Ау (Yoris Au, University of Texas at Antonio), Никил Баргава (Nikhil Bhargava, Aircom International, Inc), Майкл Буетнер (Michael Buettner, University of Washington), Джон Дэй (John Day, Boston University), Кевин Фалл (Kevin Fall, Intel Labs), Рональд Фулл (Ronald Fulle, Rochester Institute of Technology), Бен Гринштейн (Ben Greenstein, Intel Labs), Даниел Гальперин (Daniel Halperin, University of Washington), БобКиницки (Bob Kinicki, Worcester Polytechnic Institute), Тадаеси Коно (Tadayoshi Kohno, University of Washington), Сарвич Кулкарни (Sarvish Kulkarni, Villanova University), Ханк Леви (Hank Levy, University of Washington), Ратул Махажан (Ratul Mahajan, Microsoft Research), Крейг Партридж (Craig Partridge, BBN), Майкл Пиатек (Michael Piatek, University of Washington), Джошуа Смит (Joshua Smith, Intel Labs), Нил Спринг (Neil Spring, University of Maryland), Дэвид Тэнеука (David Teneyuca, University of Texas at Antonio), Тэмми Вандегрифт (Tammy VanDegrift, University of Portland), және Бо Юань (Bo Yuan, Rochester Institute of Technology). Мелоди Каденко (Melody Kadenko) мен Джули Свендсенге (Julie Svendsen) Давидке көрсеткен әкімшілік қолдауы үшін өзіміздің рақметімізді айтқымыз келеді.

Тараулардың соңында туындаған жаңа да күрделі мәселелерді шешуге Шивакант Мишра (Shivakant Mishra, University of Colorado at Boulder) мен Пол Нагин (Paul Nagin, Chimborazo Publishing, Inc.) көп еңбек сіңірді. Біздің редакторымыз Трейси Дункелбергер (Tracy Dunkelberger) үлкен және кіші мәселелерді шешуде пайдалы кеңес беріп отырды. Мелинда Хаггерти (Melinda Haggerty) мен Джефф Холкомб (Jeff Holcomb) бұйымдарымызды керекті қалпында ұстау жағынан керемет жұмыс атқарды. Стив Армстронг (Steve Armstrong, LeTourneau University) Power-Point слайдтарын дайындады. Стивен Тернер (Stephen Turner, University of Michigan at Flint) мәтінді алып жүруші веб-ресурстар мен тренажерларды еппен қарап шықты. Біздің әдеби редакторымыз, Рейчел Хед (Rachel Head), ерекше гибрид: көзі бүркіттің көзіндей және есі пілдікіндей. Оның барлық түзетулерін оқығаннан кейін, біз екеуміз де үшінші сыныпта оқып жүргендей күйге түсетінбіз.

Біз ең маңызда адамдарға енді жеттік. Сюзанна (Suzanne) бұл асудан 19 рет өтсе де, осы уақытқа дейін шексіз шыдам мен махаббатқа ие. Барбара (Barbara) және Марвин (Marvin), сендер жақсы мен жаман оқулықтың айырмашылығын көрсетіп, әрқашан жақсысын жазуға шабыттандырдыңдар. Данил (Daniel) мен Матильданы (Matilde) біздің жанұяға келіп қосылғандарымен құттықтаймыз. Арон (Aron) бұл кітапты жуық арада оқи қоймас, бірақ ол кітаптағы әдемі суреттерді өте жақсы көреді. Катрин мен Люси біздің жүзімізден күлкі кетірмей, шексіз қолдау көрсетті. Рақмет.

*ЭНДРЮ ТАЕНБАУМ
ДЭВИД УЭЗЕРОЛЛ*

1

КІРІСПЕ

Өткен әрбір жүзжылдық өзінің үстем технологиясының басымдылығымен белгіленді. 18 жүзжылдық индустриалды революция және механизация ғасыры болды. XIX ғасырда бу қозғалтқыш дәуірі басталды. XX ғасыр бойы басты технология ақпаратты жинау, өңдеу және тарату болды. Бұл ғасырдағы өзге өндеулердің ішінен жаһандық телефондық желілерді құруды, теледидар мен радионы ойлап табу, компьютерлік индустрияның пайда болып, бұрын соңды болмаған дамуын, байланыс спутниктерін ұшыру және әрине, Интернетті атап өту қажет.

Технологиялық прогрестің өте жоғары жылдамдығының арқасында бұл салалар бір-бірімен етене араласуда. Сонымен қатар XXI ғасырда ақпаратты жинау, тасымалдау, сақтау және өндеудің арасындағы айырмашылықтар жылдам жойылып кетіп отыр. Кеңселері бүкіл әлемде шашырай орналасқан мекемелер өздерінің ең алыстағы офисінің ағымдағы хал-ахуалы туралы ақпаратты батырманы басу арқылы алуға мүмкіншілігі болуы керек. Біздің ақпаратты жинау, өңдеу және тарата білу деңгейіміздің өсуіне қарай, ақпаратты анағұрлым күрделі өңдейтін құралдарға деген талап күннен күнге арта түсуде.

Компьютерлік индустрия басқа өндірістерге (мысалы, автомобиль немесе авиациялық өндірістер) қарағанда кенже болғанымен, бұл саладағы прогреске тигізген әсер әлдеқайда елеулі. Өз өмірінің алғашқы екі онжылдығында компьютерлік жүйелер өте күшті ортақтандырылған болды да, әдетте олар бір бөлменің айналасында орналасты. Көбінесе, бұл бөлме, келушілер электронды кереметті тамашалай алуы үшін, әйнектен тұрғызылған қабырғалармен жабдықталатын. Өте ірі мекемелердің ондаған компьютері бар болса, орта

көлемдегі компания немесе университет бір немесе екі компьютерді ғана иелене алады. Қандай да бір он жылдан кейін анағұрлым қуатты компьютерлердің көлемі пошта маркасының көлеміндей және миллиардтап өндіріледі деген ойдың өзі ол кезде таза қиял болып көрінетін.

Компьютерлердің бірігуі мен коммуникацияға компьютерлік жүйелерді ұйымдастыру принципі орасан зор ықпал етеді. Тұтынушылар өздерінің жұмыстарын өңдеу үшін келетін үлкен компьютер орналасқан бөлме бір кездегі басым болған «есептегіш орталық» ұғымын білдіретін болса, қазіргі таңда ол толығымен ескірген (дегенмен, мыңдаған интернет-серверлерді қамтитын ақпараттық орталықтар бар). Мекеменің барлық есептегіш талаптарына қызмет ететін жалғыз компьютердің ескі моделі енді тапсырманы бір-бірімен байланысқан жеке компьютердердің үлкен саны орындайтын схемаға ауыстырылды. Бұл жүйелерді **компьютерлік желілер** деп атайды. Аталған жүйелерді жобалау және ұйымдастыру – біздің кітабымыздың тақырыбы.

«Компьютерлік желілер» терминін біз, бір технологиямен байланысқан автономды компьютерлер жинағын білдіру үшін қолданамыз. Егер компьютерлер бір-бірімен ақпарат алмаса алатын күйде болса, олар байланысқан деп аталады. Байланыс үшін міндетті түрде мыс сымның болуы қажет емес; талшықты оптика, микротолқындар, инфрақызыл диапазон және байланыс спутниктері қолданылады. Желілер әртүрлі мөлшерлі, пішінді және конфигурациялы келеді. Олар әдетте үлкен желілерді құру үшін бірігеді, желілердің желісінің ең танымал мысалы **Интернет** болып табылады.

Әдебиеттерде компьютерлік желі мен **таратылған жүйе** ұғымдарының арасында түсінбеушілік орын алуда. Олардың арасындағы негізгі айырмашылық таратылған жүйелерде тұтынушы үшін сансыз көп автономды компьютерлердің бар екендігі білінбейді. Әдетте, байланыстырушы ПЖ деп аталатын, нақты деңгейдегі (операциялық жүйеден жоғары) және осы идеяны жүзеге асырушы программалық жабдықтау жинағы болады. Таратылған жүйенің ең танымал мысалы – тұтынушы көзқарасы тұрғысынан алғанда құжат сияқты болып көрінетін (веб-парақ) ғаламдық тор (**World Wide Web**).

Компьютерлік желілерде ешқандай бірыңғай модел де, оны жүзеге асыратын программалық жабдықтау да жоқ. Тұтынушы нақты компьютерлермен жұмыс істейді де, есептеуіш жүйе тарапынан оларды біріктіруге деген қандай да бір әрекет жүзеге асырылмайды. Айталық, егер компьютерлердің аппараттық және программалық қамсыздандыруы әртүрлі болса, тұтынушы оны байқамай да қалады. Егер ол программаны алыстағы машинадан жібергісі келсе, оған осы машинаға айқын тіркелуіне және жіберуге нақты тапсырма беруіне тура келеді.

Іс жүзінде, таратылған жүйе желілер негізінде құрылған программалық жүйе болып табылады. Аталған программалық жүйе элементтердің жоғарғы дәрежедегі орамдығы мен айқындылығын қамтамасыз етеді. Сонымен, компьютерлік желі мен таратылған жүйе арасындағы айырмашылық аппаратурада емес, программалық қамсыздандыруда (әсіресе, операциялық жүйеде).

Дегенмен, осы екі ұғым көптеген ортақ функцияларға ие. Мысалы,

компьютерлік желі сияқты таратылған желі де файлдарды орын ауыстырумен айналысады. Айырмашылық бұл ауыстыруларды кімнің шақыруында – жүйе ме, әлде тұтынушы ма.

Кітаптың негізгі тақырыбы желілер болғанымен, көптеген тараулар таратылған жүйелерге қатысты болады. Таратылған жүйелер туралы қосымша ақпаратты Tanenbaum, Van Steen (2007) еңбектерінен оқуға болады.

1.1. КОМПЬЮТЕРЛІК ЖЕЛІЛЕРДІҢ ҚОЛДАНЫСЫ

Техникалық егжей-тегжейлерді зерттеуге кіріспес бұрын адамдарды компьютерлік желілер неге қызықтырады және олар қандай мақсаттарда қолданыла алады деген сұрақтарды талқылаған жөн. Ақырында, егер осы технологияның дамуы ешкімді қызықтырмаса, онда әртүрлі желілердің осыншама саны құрылмаған болар еді. Біз талқылауды мекемелердегі желілер сияқты дәстүрлі нәрседен бастаймыз, әрі қарай үй желілеріне және ұтқыр байланыс пен ұтқыр тұтынушылармен байланысқан жаңа технологияларға көшіп, әлеуметтік мәселелермен аяқтаймыз.

1.1.1. Мекемелердегі желілер

Заманауи мекемелердің көпшілігі компьютерлердің үлкен санын пайдаланады. Мысалы, компания әрбір қызметкері үшін компьютер иелене алады және оларды өнімдерді өңдеу, кітапшалар жазу және төлем тізімдемелерін жасау үшін пайдаланады. Бастапқыда бұл компьютерлердің кейбіреулері басқаларынан жеке жұмыс істеген болатын, бірақ қайсыбір сәтте билік ақпаратты бүкіл компанияға тарату мақсатында оларды байланыстырғысы келді.

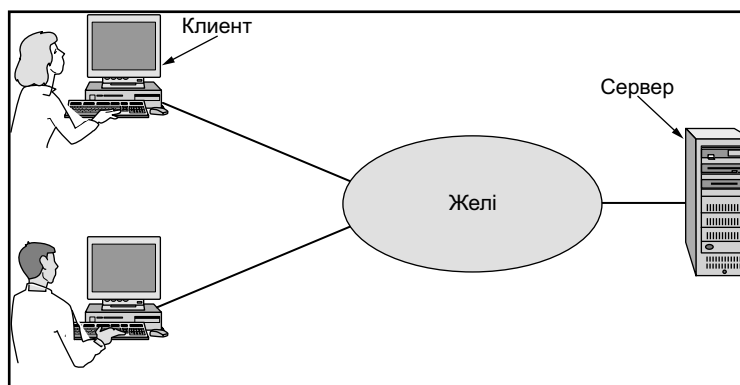
Егер осы мәселеге анағұрлым жалпы ұстаным тұрғысынан қарайтын болса, онда бұл жердегі мәселе ресурстарды бірігіп пайдалану, ал мақсат – ресурс пен тұтынушының физикалық орналасуынан тәуелсіз, желінің кез келген тұтынушысына программаларға, құралдарға, әсіресе деректерге қол жеткізу мүмкіншілігін беру. Мысал ретінде желінің кез келген жұмыс станциясының қол жеткізуге мүмкіндігі бар желілік принтерді келтіруге болады. Бұл өте тиімді шешім, себебі әрбір қызметкердің өзінің баспаға беру құрылғысының болуының қажеті жоқ, сонымен қатар бір принтерді ұстау және оны күту, әлбетте, арзанға түседі. Бірақ, бәлкім, принтерлер мен резервті нұсқа құрылғылары сияқты техникалық ресурстарды бірлесіп пайдаланудан гөрі ақпаратты бірлесіп пайдалану анағұрлым маңызды мәселе болар. Біздің заманымызда кез келген компанияны, оның көлемінен тәуелсіз, электронды түрде көрсетілген деректерсіз елестету қиын. Көптеген компаниялардың тұтынушылар есептемелері, өнім туралы ақпараты, материалдық қорлары, қаржылық есептемелері, салық туралы ақпараты және басқалары желіде өзара қолжетімді. Егер кенеттен қандай да бір банктің, тіпті, ең ірі деген, барлық компьютерлері істен шығатын болса, ол бес минуттың ішінде банкрот болады, ал есептеу техникасын пайдаланатын заманауи

автоматтандырылған өндіріс мұндай жағдайда бес секунд та шыдап тұра алмас еді. Ол тұрмақ, қарамағында үш қызметкері бар, қажетті ақпарат пен құжаттарға қол жеткізуге мүмкіндік беретін туристік агенттік компьютерлік желілерге қатан тәуелді.

Шағын компанияларда әдетте, барлық компьютерлер бір офис, әрі кеткенде бір ғимараттың шеңберінде жиналады. Егер үлкен фирмалар туралы сөз қозғасақ, онда есептеуіш техника мен қызметкерлер әртүрлі елдердегі оның ондаған өкілдіктерінде бытырай орналасқан. Осыған қарамастан, Нью-Йоркте тұрған са-тушы Сингапурде қоймадағы тауар туралы ақпаратты сұрап, оған бірден жауап алады.

Әр жерде орналасқан желілерді біріктіру үшін VPN (Virtual Private Networks– виртуалды дербес желілер) деп аталатын желілер қолданылады. Басқаша айтқанда, тұтынушының деректердің физикалық қоймасынан 15 километр қашықтықта орналасуы оның деректерге қол жеткізуіне тосқауыл бола алмайды. Желілердің мақсаттарының бірі «географияны жою» мәселесімен күрес болып табылады.

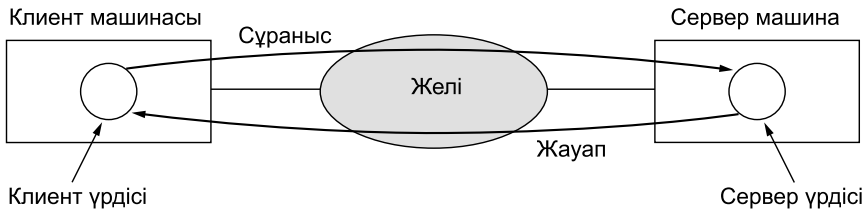
Бәрінен оңайы – компанияның ақпараттық жүйесін оның ақпараты сақталған бір немесе бірнеше деректер қорының жинағы және алыстан ақпарат берілетін қызметкерлердің қандай да бір саны деп қарастыру. Бұл жағдайда, деректер **сервер** деп аталатын қуатты компьютерде сақталады. Әдетте, сервер жеке бөлмеде орналасады және жүйелік администратор арқылы басқарылады. Екінші жағынан, қызметкерлер компьютерлерінің қуаты кемірек болуы мүмкін, олар желіде **клиентке** теңестіріледі, бір офистің шеңберінде өте көп болып орналаса алады және серверде сақталған ақпараттар мен программаларға алыстан қол жеткізе алады (Кейде біз «клиент» деп компьютерді пайдаланушыны да атайтын боламыз. Сөздің астарынан сіздер әңгіме адам, әлде компьютер туралы болып тұрғанын аңғара аласыздар деп есептейміз). Клиенттік және серверлік машиналар желіге 1.1-суретте көрсетілгендей біріктірілген. Біз әзірше егжей-текжейге берілмей желіні жалпылама көрсетіп тұрғанымызға назар аударыңыз. Бұл көрсетуді біз компьютерлік желілер туралы анағұрлым абстрактілі әңгіме жүргізгенде пайдаланатын боламыз. Желілердің жұмысының қандай да бір аспектілерін талқылаған кезде жалпыламаны ашамыз да, ол туралы жаңа жай-жапсарды беретін боламыз.



1.1-сурет. Екі клиент және бір серверден тұратын желі

Мұндай жүйе **клиент-серверлі** модель деп аталады. Жүйе кеңінен қолданылады және көбінесе, бүкіл желіні құрудың негізі болып табылады. Ең әйгілі жүзеге асырылуы – веб-қосымша. Мұнда сервер деректер қорын жаңалай алатын клиенттің сұранысына жауап ретінде деректер қорына негізделген веб-парақтарды шығарады. Бұл модель, егер клиент те, сервер де бір ғимараттың ішінде және бір компанияға тиісті болса, сондай-ақ олар бір-бірінен қашықтықта орналасса да қолданыла алады. Айталық, тұтынушы қай интернет-сайтқа рұқсат алса, сол модел жұмыс істейді. Бұл жағдайда веб-сервер серверлік машинаның, ал қолданушының компьютері клиенттің ролін атқарады. Көптеген жағдайда бір сервер бір уақытта көптеген (жүздеген немесе мыңдаған) клиенттерге қызмет көрсетеді.

Егер біз «клиент-сервер» моделіне сәл мұқият қарасақ, онда желінің жұмысында әр уақытта: серверлік және клиенттік екі үрдісті бөліп алу мүмкіндігін көрсетуге болады (яғни қызмет етуші программалар). Ақпарат алмасу көбінесе, келесідей жүреді. Клиент желі арқылы серверге сұраныс жібереді де және жауапты күте бастайды. Сұраныс қабылданған болса, сервер нақты амалдарды орындайды немесе сұралған деректерді іздейді де, сонан соң оны жөнелтеді. Осының барлығы 1.2-суретте көрсетілген.



1.2-сурет. «Клиент-сервер» моделінде сұраныстар мен жауаптар ажырытылады

Компьютерлік желілер жұмысының екінші мәселесі, ақпарат немесе есептеуіш машиналарға қарағанда, көбінесе адамдармен байланысты. Желі – бұл кәсіпорын қызметкерлеріне арналған **керемет байланыс** ортасы. Кез келген компанияда **электронды поштаны (e-mail)** қабылдап, жөнелтетін кемінде бір компьютер болады, өйткені қарым-қатынас жасаудың нақ осы жолын адамдар артық көреді. Шындығына келгенде, басшылардың адамдар уақытының көбін хат жазу мен оны жөнелтуге кетіреді деген күңкілдеуінің негізі жоқ: көптеген басшылар өзінің қарамағындағыларға өзі-ақ электронды жолдамалар жібере алатындығын әлдеқашан түсінген болатын, себебі бұл оңай және ыңғайлы.

Қызметкерлер арасындағы телефон қоңыраулары енді телефон арқылы емес, компьютерлік желілер арқылы беріле алады. Бұл технологияны IP-телефония немесе VoIP (Voice over IP) деп атайды. Әрбір шеттегі микрофон мен динамик VoIP-қосылған телефонға немесе қызметкердің компьютеріне тиесілі болады. Компаниялар әдетте, мұны телефон есепшотын үнемдеудің керемет әдісі деп есептейді. Компьютерлік желілердің көмегімен қарым-қатынас жасаудың анағұрлым жақсы түрі де бар. Алыс жерлерде орналасқан қызметкерлер кездесулер бойында бір-бірін көру және ести алулары үшін аудиоға бейне қоса алады. Бұл тәсіл бұрын

жол жүруге кететін баға мен уақытты жоюға арналған қуатты құрал болып отыр. Жұмыс үстеліне ортақтаса қол жеткізу мүмкіндігі алыс жерлердегі қызметкерлерге графикалық монитор арқылы көруге және бірлесіп әрекет етуге мүмкіндік береді. Бұл бір-бірінен қашықта орналасқан бір немесе бірнеше қызметкерлер бірлесіп есептеулер жүргізген кезде немесе есептеме жазу қажет болғанда олардың жұмысын жеңілдетеді. Бір қызметкер құжатты онлайн арқылы өзгертсе, басқа қызметкерлер, бірнеше күннің ішінде келетін хатты күтпей-ақ, бұл өзгерісті бірден көре алады. Мұндай жылдамдық адамдардың ауқымды тобының қызметтестігін бұрын мүмкін болмаған жерлерде жүзеге асырады. Телемедицина (мысалы, алыстағы емделушіні тексеру) сияқты алыстағы координацияның анағұрлым озық түрі қолданыла бастады, ал ол келешекте маңызды мәселе болуы мүмкін. Коммуникация мен тасымалдау арасында кім үстем болмаса, сол ескіреді деген жарыс орын алуда.

Көптеген компаниялар үшін үшінші мақсат – электрониканың көмегі арқылы, әсіресе, клиенттер және жабдықтаушылар, коммерциямен айналысу. Бұл жаңа моделді электронды коммерция (e-commerce) деп атайды және ол соңғы кезде жылдам өсуде. Әуе жолында, кітап дүкендерінде және басқа да сатушылар көптеген клиенттерге осылайша үйлерінде отырып дүкенге келу ыңғайлы екенін байқады. Яғни, көптеген компаниялар өз тауарлары мен қызметтерінің тізімдемесін онлайн қамтамасыз етеді және тапсырыстарды да онлайн жасайды.

Автомобильдер, ұшқыш аппараттар, компьютерлер өндірушілер жинақтауыштар мен бөлшектерді көптеген жабдықтаушылардан сатып алады да, сонан соң ақырлы өнімді жинақтаумен айналысады. Компьютерлік желілердің көмегімен тапсырыстарды ұйымдастыру мен жөнелту үрдістерін автоматтандыруға болады. Сонымен қатар, тапсырыстар өндірістік қажеттілікке қатаң сәйкес қалыптастырыла алады, бұл тиімділікті шұғыл арттыруға мүмкіндік береді.

1.1.2. Үй қосымшалары

1977 жылы Кен Олсен (Ken Olsen), сол кезде компьютерлік техниканы өндіруші компаниялардың көлемі жағынан екінші (IBMнен кейін), DEC корпорациясының президенті болды. Одан DEC неліктен дербес компьютерлерді жасау идеясын қолдамайтынын сұрағанда, ол: «Мен әрбір үйде компьютер тұруының ешқандай мағынасын көрмей тұрмын», – деп жауап беріпті. Мүмкін ол дұрыс айтқан шығар, бірақ тарихи факт көрсеткендей барлығы керісінше болып шықты, ал DEC корпорациясы өзінің тіршілігін мүлдем тоқтатты. Неге адамдар компьютерді өз үйінде орнатады? Бастапқыда негізгі мақсат мәтінді редакциялау мен электрондық ойындар болды. Таяуда ғана үй компьютерін сатып алудың ең үлкен себебі, бәлкім, Интернетке қосылу болған шығар. Сандық қабылдағыштар, ойын қосымшалары және сағаты бар радиоқабылдағыштар сияқты көптеген тұрмыстық электронды құрылғылар кірістірме компьютерлермен және компьютерлік, әсіресе сымсыз желілермен шығарылады, ойын-сауық үшін музыканы, фотосуретті, бейнені тыңдау, көру, жасауды қамтитын үй желілері кеңінен қолданылады.

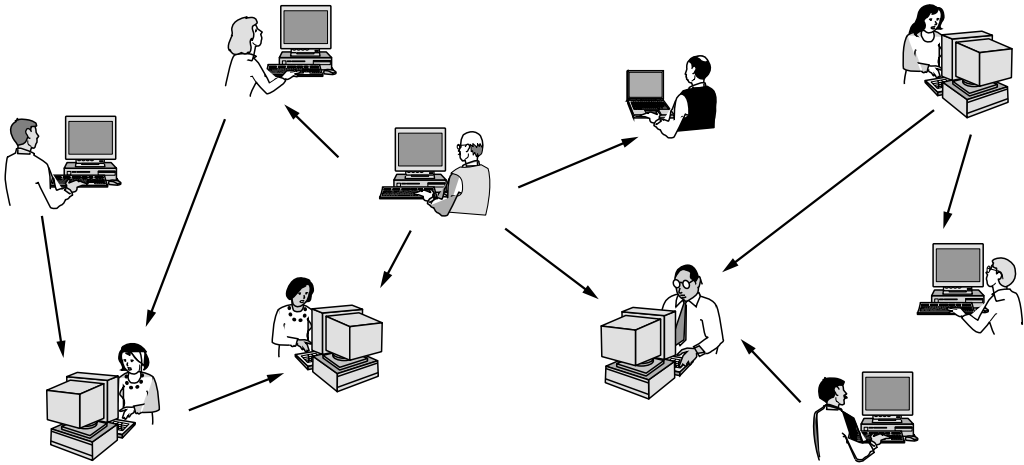
Интернетке қосылу жеке тұтынушылар үшін алыстағы компьютерлермен байланыс орнату мүмкіндігін береді. Компания жағдайларындағы сияқты, жеке тұтынушылар электронды коммерцияның көмегімен ақпаратқа қол жеткізе, жеке адамдармен араласа және өнімдер мен қызметтерді сатып алады. Негізгі пайда енді үйден тысқары байланыстардан туындайды. Ethernet желісін ойлап табушы Боб Меткалф желінің мағынасы тұтынушылардың санының квадратына тең деген гипотезаны алға тартты, себебі бұл – шамамен жасалына алатын әртүрлі байланыстардың саны (Гилдер, 1993). Аталған гипотеза «Меткалф заңы» деген атпен әйгілі. Ол Интернеттің орасан зор танымалдығы оның мөлшерінен қалайша туындайтығын түсінуге көмектеседі.

Алыстағы ақпаратқа қол жеткізу әртүрлі нысанда жүзеге асырыла алады. Қажетті немесе жай ғана қызық ақпаратты іздеу үшін Желі бойын аралауға болады. Сонымен бірге Интернетте көрсетілмеген ғылым саласын іс жүзінде табуға болмайды. Ол жерде өнер де, аспаздық та, саясат та, денсаулық та, тарих та, түрлі әуес істер де, демалыс та, ғылым да, спорт та және тағы басқалары да бар, кейбіреулерін ескермесе де болады.

Көптеген газеттерді электронды түрде пайдалануға мүмкіндік туды, оларды дербестендіріп алуға да болады. Мысалы, саяси қайраткерлердің арасынан сыбайлас жемқорлыққа қатыстылары, ірі өрттер, атақтыларға байланысты жанжалдар, эпидемиялар туралы ақпараттардан бас тартпайтын, ал футбол туралы ақпараттан бас тартатын тапсырысты беруге болады. Сіз ұйықтап жатқанда газет компьютеріңізге жүктелуін қамтамасыз етуге болады. Әрине, бұл газет таратушы жасөспірімдерді жаппай жұмыссыздыққа әкелетін жайт, бірақ редакциялардың өздері оқиғаның бұлайша бұрылғанына дән риза, себебі олардың өндіріс тізбегіндегі ең осал мүше барлық кезеңде тарату болатын. Әрине, бұл модел жұмыс істеуі үшін алдымен, жаңа әлемде ақшаны қалайша жасауға болатынын анықтап алу керек, себебі Интернетті тұтынушылар барлығы да тегін болады деп күтеді ғой.

Газет пен журналдардың электронды нұсқасын жасағаннан кейінгі қадам – бұл онлайн кітапханалар. ACM (www.asm.org) және IEEE бірлестігі (www.computer.org) сияқты көптеген кәсіби ұйымдар бұл мәселемен айналысып та кетті және басқа фирмалар мен жеке тұлғалар да өздерінің әртүрлі материалдарының топтамасын Интернетке орналастыруда. Электронды кітаптар мен онлайн кітапханалардың пайда болуы басылымдардың моральді түрде ескіруіне алып келуі мүмкін. Скептиктер қазірдің өзінде бұл құбылысты қол хатының орнына орта ғасырларда пайда болған баспа станоктарының пайда болу әсерімен салыстырады.

Ақпараттың көп бөлігіне қол жеткізу клиент-сервер моделі бойынша жүзеге асырылады, желілік байланыстың **тең рәнгілі желілер (peer-to-peer), (Parameswaran және басқ., 2001)** технологиясына негізделген басқа да танымал түрі бар. Тұтынушылардың қайсыбір тобына кірген адамдар, бір бірімен қатынаста бола алады. Негізінде, әркім әрқайсысымен байланыста болуға мүмкіндік бар, бұл жағдайда клиенттік және серверлік машиналарға бөліну болмайды. Бұл *1.3-суретте* көрсетілген.



1.3-сурет. Теңрангілі желілерде нақты анықталған клиенттер мен серверлер болмайды

Bit Torrent (Cohen, 2003) сияқты көптеген біррангілі желілерде контенттің ешқандай ортақтандырылған деректер қоры жоқ. Оның орнына әрбір тұтынушы жергілікті масштабта өзінің жеке деректер қорын ұстап тұрады да, жүйенің мүшелері болып табылатын көршілес басқа адамдардың тізімін қамтамасыз етеді. Жаңа тұтынушы кез келген қатынасушымен байланысады, онда не бар екенін көреді және басқа қатынасушылардың есімін алады, осылайша контенттер мен есімдердің бірталай санына қол жеткізеді. Издеудің осындай үрдісі, нәтижесінде, қолдағы бар, жергілікті үлкен деректер қорын құру үшін, қажетінше ұзақ қайталана алады. Мұндай әрекет адамдар үшін зеріктіретін жұмыс болғанымен, компьютер оны оңай орындайды.

Музыка мен бейнені бірге қолдану үшін, Жергілікті есептеуіш желілердің теңқұқықты түйіндерін жалғастыру коммуникациясы жиі іске қосылады. Napster қызметінің арқасында жүзеге асырылған осы типті коммуникация 2000 жылы өте әйгілі болды. Аталған қызмет дыбыс жазу (Lam and Tan, 2001; және Macedonia, 2000) тарихында алғаш рет орын алған авторлық құқық заңын бұзумен байланысты жанжалдан кейін жабылды. Сонымен бірге, ресми теңрангілі желілер де бар. Олар доменнің қоғамдық музыкасын бірігіп пайдаланатын табынушыларды, фотосуреттермен, фильмдермен және ашық қол жеткізу тұтынушылар программалар дестесін пайдаланушы жанұяларды қосады. Ең танымал e-mail интернет технологиясының да теңрангілі желілердің идеясынан өрбігенін ұмытпаған жөн. Негізінен байланыстың бұл түрінің болашағы айқын, келешекте ол пәрменді түрде дамитын болады.

Жоғарыда айтылған қосымшалар адамдар, қашықтағы деректер қоры және толық ақпарат арасындағы өзара қарым-қатынасты туындатады. Желілерді пайдаланудың екінші кең ауқымды санаты – адамнан адамға бағытталған ком-

муникация, 21-ғасырдың 19-ғасырдың телефонына берген жауабы. Электронды поштаны бүкіл әлемде күн сайын миллиондаған адамдар қолдануда және бұл қолданыс жылдам өсуде. Оның тек мәтін мен бейнені ғана емес, аудио мен бейнені де қамтитыны әдетке айналууда. Иісті тасымалдау, мүмкін, уақыттың еншісінде болар.

Өзін сыйлайтын жасөспірімдер жылдам мәлімдеме алмасумен әуестенуде. Шамамен, 1970 жылдан бастап пайдаланыла бастаған, talk UNIX-программасынан алынған бұл мүмкіндік шынайы уақыт режимінде мәлімет алмасуды қамтамасыз етеді. Twitter сияқты «шырылдау» деп аталатын қысқа мәтіндік мәлімдемелерді өзінің достарының шеңберіне немесе мәлімдемені алуға келісім бергендерге жіберуге мүмкіндік беретін бірнеше адамға арналған мәлімет алмасу қызметі де бар. Интернетті қосымшалар аудио (мысалы, интернет-радиостанциялар) және бейнені (мысалы, You Tube) беру үшін де қолданады. Сонымен қатар ол – алыстағы адамға қоңырау шалудың арзан тәсілі, бұл қосымшалар мысалы, егер ертеңгі сағат 8-де сабақа бару керек болса, оған төсектен тұрмай-ақ қатысуға болатын қашықтан оқытуды қамтамасыз етуі мүмкін. Ең ақырында, желілерді адамдар арасындағы қарым-қатынасты жақсарту үшін пайдалану басқалардан артық болуы мүмкін. Бұл географиялық тұрғыдан алғанда, қысымшылық көріп отырған адамдар үшін өте маңызды, олар қол жеткізулік мүмкіндігіне үлкен қаланың орталығында орналасқандар сияқты ие болады.

Адамнан адамға коммуникация және ақпаратқа қол жеткізу арасындағы аралық жағдайды әлеуметтік желілер иеленеді. Бұл жерде ақпарат ағымы адамдар арасындағы хабарлаған қатынастар арқылы басқарылады. Әлеуметтік желілердің танымал сайттарының бірі – **Facebook**. Ол өзінің жеке пішінін жаңартуға, осы жаңартуларға өздерінің досы деп хабарлағандарға жалпы қол жеткізуге рұқсат береді. Әлеуметтік желілердің басқа қосымшалары достардың достары арқылы көрсетілуі мүмкін, жоғарыда айтылған Twitter сияқты, жаңалық хабарларды достарға жіберуге және басқа да көптеген операцияларды орындауға болады.

Адамдар тобы контент құру арқылы одан да еркін қатынаста бола алады. Мысалы, технология wiki қауымдастықтың мүшелері бірігіп редакциялай алатын – веб-сайт. Ең танымал wiki – бұл кез келген редакциялай алатын энциклопедия **Википедия**, бірақ wiki мындаған басқа да сайттарға ие.

Біз бөліп көрсеткен категориялардың үшіншісі, сөздің нағыз кең мағынасында, электронды коммерция болып табылады. Үйге арналған азық-түлік пен заттарды интернет арқылы сатып алу күнделікті әдетке айналды. Веб-каталог арқылы бір нәрсе сатып алуды ұсынған компаниялардың саны күн сайын көбейе бастағандықтан сатып алушыда мол таңдау пайда болды.

Бұл каталогтердің бірқатары интерактивті, тауарларды бірнеше жолмен әртүрлі көзқараста көрсетеді және арнайы жөнге келтіру мүмкіндіктері бар. Егер тұтынушы белгілі бір тауарды сатып алып, онымен не істеу керек екенін білмеген жағдайда оған қолдау қызметі командасы көмектеседі.

Электронды коммерция басқа маңызды бағытта кеңінен қолданылады: қаржылық мекемелерге кіруге қолжетімдік. Көпшілігі қазіргі күннің өзінде

вексельдің ақысын төлейді, банк есепшоттарын басқарады және өзіне лайықты желілік қызметтерді қосу арқылы жұмыс істейді.

Еш адам болжай алмайтын электронды тағы бір аймақ - «жайма» базарлар бар. Пайдаланылған заттарды сататын онлайн аукциондар қазіргі кезде қуатты желілік қызмет көрсетудің біріне айналды. «Клиент-сервер» моделін пайдаланатын дәстүрлі электронды коммерциядан айырмашылығы, бизнестің мұндай түрі, тұтынушылар сатушы ретінде де, сатып алушы ретінде де әрекет жасай алатын мағынада, теңрангілі желілерге жақын келеді. Желілік коммерцияның кейбір түрлері уақыт өте қысқарған мағынаға ие болды және солардың ішінде көп пайдаланылатыны *1.1-кестеде* берілген.

1.1-кесте

Электронды коммерцияның кейбір формалары

Белгіленуі	Толық аты	Мысалы
B2C	Коммерсант тұтынушыға	Кітаптарға on-line режимінде тапсырыс беру
B2B	Коммерсант коммерсантқа	Автомобиль өндіруші қақпақ жеткізушіге тапсырыс береді
G2C	Мемлекет тұтынушыға	Бланк түбіртектерін интернет арқылы тарату
C2C	Тұтынушы тұтынушыға	Пайдаланылған тауарларды сату
P2P	Теңрангалық желі	Музыка файлдарына ортақ мүмкіндіктер

Біздің келесі санатымыз – ойын-сауық. Ол соңғы жылдарда Интернетте музыка, радио-телебағдарламаларды және фильмдерді таратуда үлкен жетістіктерге ие және дәстүрлі механизмдермен бақталастыққа түсуде. Тұтынушылар MP3 форматтағы музыкаларды, сонымен қатар DVD сапасындағы фильмдерді іздеуге, сатып алуға, жазып алуға және өздерінің жеке жинақтарына қосуға мүмкіндіктері бар. Телебағдарламалар қазіргі уақытта IP жүйесі (IPTelevision) бойынша кабелді теледидар неме радиотаратқыштарға негізделген IPTV жүйесін пайдаланады. Мультимедиа ағындарын тарататын қосымшалар тұтынушыларға интернет – радио тындау және топтамалардың жаңа эпизодтарын қарауға мүмкіндіктер береді. Әрине, контент үйдегі бір құрылғыдан екіншісіне қосыла алады, бірақ көп жағдайда тоқсыз желі арқылы дисплей мен динамик арасында орнатылады.

Жақын арада бұрын түсірілген кез келген фильмді немесе телебағдарламаларды лезде өз экранымыздан көруге мүмкіндік ала алатын боламыз. Жаңа фильмдерде тұтынушылар сюжет жалғасын өздері әрі қарай не болатынын таңдау жасау арқылы алдын ала түсіріліп қойылған балама сценарийлердің бірін таңдай алатын (Макбет Дунканды дәл қазір өлтірсін бе, әлде кешірек пе) барлық құрылғылар интерактивті болады. Теледидар да аудитория қатысымен викториналық жарыстарда жеңімпазды таңдай алатын интербелсенді бола алады.

Ойын-сауықтың келесі бір түрі – ойындар. Қазіргі уақыттың өзінде адам

басқаратын симулятор-ойындар бар. Мысалы, ежелгі сарайда тығылу ойынын виртуалды түрде немесе қарсыласының ұшуына бөгет болатын басқарылатын ойындарды айтса болады. Виртуалды әлем мыңдаған адам қол жеткізіп, қатар пайдаланатын, виртуалды шынайы әлем орнаған үшөлшемді графикамен жасалынған тұрақты әрекет орнын алады.

Біздің соңғы санатымыз – Марк Веизер (1991) болжап кеткендей күнделікті өмірге енген, **барлық жерде кездесетін есептеулер**. Қазірдің өзінде көптеген үйлерде есіктерде, терезелерде және басқа да жерлерде орнатылатын үй монитормына қосылған сақтандыру жүйелері бар, мысалы кейбір құрылғылар энергияны пайдаланылу мөлшерін тексереді. Сіздің электр, газ және су есептеуішіңіз де желі арқылы беріле алады. Бұл бақылаушының керек еместігіне байланысты ақша үнемдеуге көп көмегін тигізеді. Ал түтін детекторлары қатты дауыс шығармай (үйде ешкім болмаған жағдайда қатты шырылдағанның мағынасы болмайды), бірден өрт сөндірушілерге хабарласа алады. Қадағалардың құнының арзандауы нәтижесінде желі арқылы өлшеу көп орын алады.

Электронды құрылғылардың көпшілігін желі байланыстырады. Мысалы, кейбір жоғарғы сапалы камералар түсірілімнен кейін автоматты түрде адамға көрсету үшін сымсыз дисплейге қосылу мүмкіндігіне ие. Кәсіби спортты суретке түсірушілер сымсыз технологиялар арқылы редакцияға дәл сол уақытында интернет арқылы жібере алады. Теледидар сияқты құрылғылар электртаратушы желілерді пайдаланып, электр өткізгіштері арқылы үй ішінде мәлімет алмасады. Желіге қосылатын электронды құрылғылар таң қалдырарлықтай зат болуы мүмкін, бірақ біздің ойымызға келетін құрылғылар да желіге қосыла алады. Мысалы, сіздің сусеберіңіз суды пайдалану туралы жазып, сабынданып жатқан уақытта сізге визуалді түрде кері байланыс жібереді және үйдің экологияны қадағалайтын құрылғысына сіздің жуынып біткеніңіз жайлы хабар беріп отырады. Бұл суға кететін шығынды үнемдеуге көмектеседі.

RFID (Radio Frequency IDentification) деп аталатын технология бұл ойларды болашақта іске асырады. RFID таңбасы қазір бәсеңдеу (яғни, ешқандай батареясы жоқ), пошта маркасының көлеміндей және кітаптарға, куәлікке, үй жануарларына, несие карталарына және көшедегі немесе үйдегі кез келген құрылғыларға орнатыла алады. Бұл RFID тұтынушыларына RFID түріне байланысты бірнеше метр арақашықтықта байланыс орнатуға және орнын анықтауға мүмкіндік береді. Алғашында коммерциялық мақсатта RFID штрих кодтарды алмастырған. Бұл әлі жүзеге асқан жоқ, өйткені штрих кодтар әлі күнге тегін, ал RFID құны бірнеше цент тұрады. Әрине, RFID маңызы артып, оның құны жыл сайын түсіп келеді. Олар шынайы өмірді Интернетке айналдыра алады (ITU, 2005).

1.1.3. Ұтымды тұтынушылар

Икемді компьютерлер – ол қазіргі таңда өте жақсы дамып келе жатқан ноутбуктар мен қол компьютерлері болып табылады. Олардың өнімдері үстел компьютерлерінің өнімдеріне қарағанда, көп сатылады және біршама алда

келе жатыр. Неге адамдар оны алғысы келеді? Өйткені олар икемді құрылғыны электрондық хаттарды оқу және жіберу үшін, кино көру, өлеңдерді жүктеу, ойын ойнау үшін немесе жай ғана ғаламтордан мәліметтер іздеу үшін, орын ауыстырып жүріп пайдаланғысы келеді. Адамдар бұл мүмкіндіктерді үйде отырса да, кенседе отырса да, тіпті суда немесе ауада жүрсе де пайдаланғысы келеді.

Ғаламтормен байланыс жасау икемді мүмкіндіктерді одан әрі пайдалы етеді және кеңейте түседі. Сыммен берілетін мәліметтерді көбінесе көлікте, ұшақта, қайықта пайдалану мүмкін емес, сол себепті көп адамдар сымсыз жүйеге қызығушылықтарын білдіреді. Телефонды басқаратын компаниялар, ұялы жүйелер қазіргі таңда көп таралған сымсыз жүйенің бірі болып табылады. Икемді компьютерлердің 802.11 қалпында жасалған тағы бір түрі қол жетімді сымсыз нүкте саналады.

Егер компьютер сымдық жүйеге қосылған болса, онда ноутбук пен сымсыз модем арқылы ғаламторға қолжетімді нүкте арқылы қосылуға болады.

Мұндай жүйені қазіргі кезде жүк тасу, хат жеткізу қызметі, жөндеу сияқты саласында жұмыс жасайтын ірі компаниялар үлкен жетістікпен пайдаланады. Бұл салаларда ол жүк көліктері мен тауарлардың қайда екенін біліп отыру үшін қажет. Мысалы, көп жерлерде такси жүргізушілер жекеменшік болып келеді, қандай да бір таксопаркке бағынышты емес. Олардың көліктерінде электронды көрсеткіш тақта болады, сол тақтаға сұраныс түскен жағдайда, диспетчер оларға қай жерде, қай кезде болуы керектігін хабарлайды. Кім сұранысты бірінші қабылдаса, сол жүргізуші тапсырысты орындайды.

Сымсыз жүйелер әскери істерде де маңызды және кеңінен қолданылады. Жауынгершілік әрекеттер жасаған кезде көбінесе, әлемдік жүйеге сенуге болмайды, ондай жағдайда өз жүйенді құра білуің керек.

Икемді компьютерлер мен сымсыз жүйелер бір-бірімен тығыз байланыста болса да, екеуі екі түрлі нәрсе болып табылады. Бұл *1.2-кестесінде* көрсетілген. Икемді және стационарлық сымсыз жүйелердің арасында айырма бар екенін көруге болады. Тіпті ноутбуктарды да кәдімгі компьютерлік жүйелерге қосады. Тұтынушы қонақ үйде телефонды розеткаға кигізгенде, ол икемділікті сымсыз жүйесіз де алады.

Төселген кабельдер жетіспейтін үйлерде, офистарда, қонақүйлерде үстел компьютері немесе медиаойнатқыштарды, сым тартқаннан гөрі, сымсыз технологиялардың көмегімен жалғаған анағұрлым ыңғайлы болады.

1.2-кесте

Сымсыз жүйелер мен икемді компьютерлердің үйлесімділігі

Сымсыз жүйе	Икемділік	Қолданылуы
Жоқ	Жоқ	Кеңседегі үстел компьютерлері
Жоқ	Бар	Қонақ үйдегі ноутбуктар
Бар	Жоқ	Сымдар жүргізілмеген ескі ғимараттар
Бар	Бар	Тауарлар туралы мәліметтерді сақтайтын қол компьютерлері

Ақыр соңында, қалта компьютері арқылы қойма есептерін реттейтін толық жарамды икемді сымсыз жүйелер бар. Көптеген ірі және жүк артылған әуежайларда жұмысшылар мен көлік тұрақтарын жалға алушылар икемді компьютерлерді жиі пайдаланады. Олар штрих-кодты немесе көліктің RFID-таңбасын сканерлеп алады да, олардың икемді құрылғыларын принтер мен бас компьютерді байланыстырып, олардан мәліметтерді алып, дереу есеп-қисапты баспаға шығарады.

Ұялы телефон сымсыз байланыстың дамуындағы басты қозғалтқыш болып табылады. Мәтіндік хабарламалармен алмасу қазіргі таңда өте танымал және көп таралған. Тұтынушы қысқаша хабарлама жазып, оны ұялы байланыс арқылы екінші икемді тұтынушыға жібереді. Қысқаша хабарлама жазатын жасөспірімдер телефон компанияларына үлкен табыс әкелетіндігін, осыдан 10 жыл бұрын біршама адамдар айтып кеткен болатын. Бірақ **texting** (немесе **Short Message Service**, АҚШ-тан өзге елдер осылай атайды) өте ыңғайлы, себебі мәтіндік хабарламаларды жіберу анағұрлым арзан тұрады.

Көптен күткен телефон және интернет конвергенциясы пайда болды, бұл ұялы телефондардағы қосымшалардың өсуіне алып келді. iPhone сияқты танымал **смартфондар** ұялы телефондар мен икемді компьютерлердің үйлесуі болып табылады. Үшінші және төртінші буын ұялы байланысының көмегімен (3G және 4G) телефон қоңырауларын жөндеу секілді Интернетке қосылады және ақпараттық қызметтерді жылдам атқарады. Көптеген жаңартылған ұялы телефондар қол жеткізу нүктелеріне қосылады және желілер арасында тұтынушыға ең тиімді нұсқасын беріп, автоматты трансляция жүргізеді.

Тұрмыстық электрониканың басқа құрылғылары ұялы желілерді және қол жеткізу нүктелерін жойылған компьютерлер арқылы пайдалана алады. Кітапты оқитын электрондық құрылғылармен жаңадан сатып алынған кітаптарды, жаңадан тұсаукесері болған журналдарды немесе күнделікті газеттерді қайда жүрсе де жүктеуге болады. Электрондық фотожақтаулар дисплейдегі суреттерді өзгертіп тұрады.

GPS (Global Positioning System) жүйелерімен жабдықталғандықтан ұялы телефондар өздерінің орналасқан жерін біледі, сондықтан кейбір қызметтер өздерінің тұрған орнына тәуелді болады. Икемді карталар мен сілтеуіштер-айқын кандидаттар, себебі сіздің GPS-пен жабдықталған телефоныңыз да, автомобиліңіз де қайда тұрғаныңызды сізден жақсы білуі мүмкін. Тура осындай жағдай жақын арадағы кітап дүкенін, қытай мейрамханасын немесе жергілікті ауа райын білгіңіз келген кезде туындайды. Басқа қызметтер тұрған орынды жазып алуы, мысалы фотография мен бейне үшін олар жасалған орынды көрсетуі мүмкін. Мұндай нұсқаулар *«geo-тегтеу»* деп аталады.

Ұялы телефондар қолдныла бастаған аймақ икемді сауда аймағы (**mobile-commerce**) болып табылады (Senn, 2000). Ұялы телефонның қысқа мәтіндік мәлімдемелері сауда автоматтарында азық-түлік үшін есеп айыру, киноға билет алу және басқа да майда-шүйде амалдар үшін қолма-қол ақша мен несие карталарының орнына қолданылады. Есеп айырысу ұялы телефонның есебіне қосылатын болады.

NFC (Near Field Communication) технологиясымен жабдықталған ұялы телефон RFID картасы сияқты жұмыс істейді де, есеп айырысу үшін жуық арадағы санауышпен бірлесіп әрекет жасайды. Басқарудың бұл түрінің қозғаушы күші – электронды коммерция бөлішінің бір бөлігін қалай алуға болатынын білуге барынша тырысатын икемді құрылғыларды өндірушілер мен желілік операторлар. Дүкен тұрғысынан қарағанда, бұл тәсіл бірнеше пайызды құрайтын компанияның несиелік карта табысының көп бөлігін сақтауға мүмкіндік береді. Алайда, бұл сұрақтың дүкенге мүлдем тиімсіз болатын жақтары да бар: клиент PDA көмегімен өзінің таңдап алған тауарларының қай дүкенде арзан екенін де біле алады. Сонымен қоса, PDA өнімнің штрих-кодын оқуға арналған және ол тауар қай жерде және қандай бағамен сатылатындығы туралы мағлұмат беретін кіріктірілме сканермен жабдықталуы мүмкін.

Икемді желілердің операторларында, яғни м-коммерцияда да бір өте керемет артықшылық бар. Интернет тұтынушыларына қарағанда, ұялы телефондар абоненттерінің айырмашылығы, олар барлық нәрсе үшін төлеуге дағдыланған. Егер қандай да бір сайтта кредиттік карталар бойынша төлем ақы үшін жиналымдар болады деген ескертпе жылт ете қалса, келушілер үлкен шу көтереді. Егер икемді байланыстың операторы аз ғана төлем ақы үшін телефонның көмегімен дүкендерде жасалған сатып алуларға төлем жасауға мүмкіндік беретін болса, ол үйреншікті нәрсе сияқты қабылданатын шығар. Оны уақыт көрсетер.

Келешекте есептеуіш техниканы жаппай миниатюрлеу тенденциясына негізделген технологияның дамуы әбден мүмкін. Кейбір мүмкіндіктерге көз жүгіртейікші. **Сенсорлық желілер** материалды әлемнің күйі туралы ақпаратты жинап, оны сымсыз технологияның көмегімен жіберіп отыратын түйіндерден құралады. Түйіндер автомобильдер немесе телефондар сияқты таныс элементтердің бір бөлігі немесе жеке кішігірім құрылғылар болуы мүмкін. Мысалы, сіздің автомобиліңіз өзінің диагностикалық жүйесінен тұрған орны, жылдамдығы, дірілі және отынды үнемдеуі туралы ақпаратты алып және оны деректер қорына жүктей алатын еді (Hull және т.б., 2006). Мұндай деректер шұңқырларды, кептелген көшелерді айналып өтуді жоспарлауға көмектеседі және келе жатқан жолыңызда сіз басқа жүргізушілермен салыстырғанда қанша бензин жұмсайтындығыңыз туралы деректер бере алатын еді.

Сенсорлық желілер бұрын қол жеткізбеген ақпаратты жинау арқылы ғылымның түрін өзгертеді. Мысалы, әрбір жануарға кішкене ғана тетікті қондыру арқылы жолақ жылқылардың бір тобының орын ауыстыруларын бақылауға болады (Juang және т.б., 2002). Зерттеушілер жағы 1 мм болатын сымсыз компьютерді кубке жинайды (Warneke және т.б., 2001). Икемді компьютерлердің көмегімен кішкене жануарлардың, құстардың, кеміргіштер мен жәндіктердің орын ауыстыруларын қадағалау мүмкін болады.

Тіпті, мысалы, автотұрақ санауыштарындағы сияқты, жерге қосылған қондырғылардың өзінің маңызы зор болуы мүмкін, себебі бұрын қол жетпеген деректерді пайдалану мүмкін болып тұр. Тұрақ уақытының сымсыз санауыштары несиені немесе дебет карталарының төлемдерін сымсыз сілтеу бойынша лезде

қабылдайды. Олар сондай-ақ сымсыз желі бойынша өзінің бос еместігі туралы да мәлімдей алады. Бұл жүргізушілерге автотұрақтың өзекті картасын жүктеуге мүмкіндік туғызады да, нәтижесінде бос орынды оңай табуға болар еді. Ақысы төленген уақыт аяқталған соң санауыш автомобильдің бар жоғын тексеріп (дабыл қағып), мерзімнің біткендігі туралы мәлімдеме беретін еді. Тек АҚШ-тың өзінде ғана мұндай шарадан қосымша \$10 миллиард жинауға болатындығы есептелінген (Harte және т.б., 2000).

Тағы бір көп үміт күттірерлік қосымша – бұл **адам өз бойында алып жүре алатын компьютерлер**. Радиоқабылдағыш кіріктірілген ақылды сағаттарды, біз олар туралы алғаш рет 1946 жылы Дик Трэйси (Dick Tracy) әзіл-оспақ монологында айтқан кезден бастап үйрене бастаған болатынбыз, қазір оларды сатып алуға болады. Инсулин сорғыш және жүректі электронды ынталандырғыш сияқты басқа да осындай құрылғылар енгізіле алады. Олардың кейбіреулері сымсыз желі арқылы басқарылады. Бұл дәрігерлерге оларды оңай тексеруге, кескін үйлесімін өзгертуге мүмкіндік береді. Әрине, егер бұл құрылғылар оңай бұзуға болатын орташа компьютер сияқты қорғансыз болса, әртүрлі мәселелер туындайды (Halperin және т.б., 2008).

1.1.4. Әлеуметтік аспект

Сонымен, 500 жыл бұрынғы баспа станогі сияқты компьютерлік желілер әртүрлі аудиториялар арасында азаматтардың көзқарасын таратудың жаңа тәсілін көрсетеді. Ақпаратты таратудың жаңа еркіндігі өзімен бірге жаңа, әлі шешімін таппаған саяси, әлеуметтік және этикалық мәселелерді әкелуде. Қысқаша олардың кейбіреулерін ғана еске сала кетейік; толық зерттеу, кем дегенде, бүтіндей бір кітапты қажет етеді.

Әлеуметтік желілер, хабарландыру такталары, контентті сақтауға арналған сайттар және басқа қосымшалармен түйіндер адамдарға өзінің көзқарасын өзі сияқты ойланатын адамдармен бөлісуге мүмкіндік береді.

Талқыланыып отырған пән техниканың немесе бау-ақшаны күтіп-баптау сияқты әуесқойлықтың шеңберінен шықпағанша, туындайтын мәселелер онша көп емес еді.

Мәселелер саясат, дін, секс сияқты адамдарды шынайы мазалайтын тақырыптарға арналған конференциялардың пайда болуынан басталды. Бір адамдардың баяндаған көзқарастары басқалары үшін қорлағандық болуы мүмкін. Олар шындығында да, көп жағдайда саяси сыпайылықтың ережелерінен алыста болуы мүмкін. Сонымен қатар желілік технологиялар, өзіміз білетіндей тек мәтінді жіберумен ғана айналыспайды. Желілер бойымен еш қиындықсыз рұксаты жоғары фотосуреттер, тіпті, бейнеүзінділер де жүреді. Кейбір адамдар «өмір сүр, басқаларға да өмір сүруге мүмкіндік бер» деген қағиданы ұстанады, алайда, кейбіреулер желіде кейбір материалдарды орналастыруға (жеке елдің немесе діннің атына айтылған ауызша қокан-локкы, порнографиялар т.с.с.) жол

беруге болмайды және контент бақылауға ілінуі керек деп есептейді. Әртүрлі мемлекеттердің заң шығару органдарының бұл мәселеге көзқарастары өзгеше, сонымен дау-дамай шиеленісуде.

Ертеректе адамдар, газеттер мен журналдар өздерінің парақтарының мазмұнына жауапты болғаны сияқты, желі операторлары сайттардың мазмұнына жауапты деп есептеп, оларды сотқа беретін болған. Оған жауап ретінде желі операторлары, желі телефон компаниялары немесе пошта бөлімшелері сияқты өздерінің клиенттерінің айтқанына, бұл әңгімелердің мазмұнын басқаруды былай қойғанда, жауапты еместігін алға тартады.

Кейбір желі операторларының өздерінің меншікті себептері бойынша контенттің сыртпен қатынасын бөліп тастауы таңғалушылық туғызады. Желі операторларының кейбір біррангілі түйіндерді біріктіруі қосымшаларды тұтынушыларды желіден айырып тастайды, себебі олар аталған қосымшалар жіберетін тарифтердің үлкен санын тиімді емес деп есептеді. Оның себебі, мүмкін, операторлар әртүрлі компанияларға қызметті әрқалай көрсеткісі келгендіктен болар. Егер сіз ірі компания болсаңыз және ақшаны жақсы төлесеніз, онда сізге жақсы қызмет көрсетіледі, бірақ егер сіз ұсақ ойыншы болсаңыз, сапасы төмен қызметті аласыз. Бұл тәжірибенің қарсыластары біррангілі түйіндерді біріктіру мен басқа контент бірдей өңделулері керек дейді, себебі олардың барлығы – желідегі биттер. Коммуникацияны жақтайтын, контенттерге де, контентті құрғандарға да сараланбайтын мұндай ұстаным **желілік бейтараптық** деген атпен белгілі (Wu, 2003). Бұл пікірталастардың әлі бірталай уақыт жалғасуы ықтимал.

Контентке қатысты айтыста басқа да жақтар бар. Мысалы, қарақшы музыкалар мен фильмдер біррангілі желілердің жаппай өсуін құнарландырды, бұл соттық қуынумен қорқытқан (және кейде осылай істеді де) құқықиеленушілерге ұнамады. Қазір біррангілі желілерді іздеп, авторлық құқыққа қол сұғумен айналысуға күдікті деген тұтынушылар жайлы операторларды ескертіп отыратын автоматтандырылған жүйелер бар. Құрама Штаттарда аталған ескертулер санық дәуірде (**Digital Millennium Copyright Act**) авторлық құқықты қорғау туралы Заңды қабылдағаннан кейін пайда болған **DMCA** деген атпен белгілі. Мұндай іздеу жаппай қару шығарумен тең, себебі авторлық құқықты анық бұзушылыларды ұстап алу өте қиын. Тіпті сіздің принтеріңіз де қателесіп қылмыскер деп қабылдануы мүмкін (Piatek және т.б., 2008).

Компьютерлік желілер қарым-қатынасты өте оңай етеді. Олар сонымен қатар трафикті қадағалау мүмкіндіктерін де жеңілдетеді. Осылайша қақтығыс аймағы жалдаушының құқығымен қарама-қайшылыққа түскен жалдамалының құқығы болды. Кейбір жалдаушылар өзінің жұмысшыларының мәлімдемелерін, олардың үй терминалдарынан жіберген мәлімдемелерімен қоса, оқуға, қажет болған жағдайда тексеруге құқығымыз бар деп есптейді. Барлық адам мұны мақұлдай бермейді.

Басқа бір жанжал мемлекет пен оның азаматтарының қарым-қатынасы айналасында туындайды. Белгілі болып отырғандай, ақпараттың түйіршігін іздеуде ФБР көптеген қызмет жабдықтаушылардың серверінде кірген және шыққан поштаны

қарап шығуға мүмкіндік беретін арнайы жүйелерді орнатқан. Бастапқыда жүйе Carnivore (жыртқыш) деп аталды, бірақ мұндай қаһарлы есім өзіне жұртшылықтың назарын тым көп аударды. Жүйенің атын өзгертуге шешім қабылданды да, оған DSC100 (Blazé and Bellovin, 2000; Sobel 2001; Zacks, 2001) деген бейкүнә есім берілді. Мұндай жүйелердің мақсаты – заңсыз іс-әрекетті тауып аламын деген үмітпен миллиондаған адамдардың соңынан тыңшылық әрекет ету. Өкінішке орай, тыңшылар үшін, американдық Конституцияда берілген төртінші түзету тінтуге, ордер берілмеген үкіметтік іздеулерге тиым салады, бірақ көп жағдайда мемлекет оны елемейді.

Әрине, тек үкімет ғана жеке өмірге қауіп төндірмейді. Жеке сектор де тұтынушыларды **кескіндеу** арқылы өзінің үлесін қосуда. Мысалы, тұтынушының Желіде не істегенін, кейбір тәртіпсіз компаниялардың құпия ақпараттарды біліп қойып, Интернет арқылы несие карталарының нөмірлерін және де басқа маңызды сәйкестендіргіштерді беруге ерік беретін кішкене ғана **cookie-файлдар** (Berghet, 2001) бар. Желіде қызмет көрсететін компанияларда олардың тұтынушылары туралы ақпараттың саны үлкен, сондықтан олар тұтынушының әрекетін зерттеп білуге мүмкіндік алады. Мысалы, Google сіздің электронды поштаңызды оқи алады және егер сіз оның **Gmail** электронды пошта қызметін пайдалансаңыз, сіздің қызығушылықтарыңызға байланысты жарнаманы көрсете алады.

Икемді құрылғылардың таралуына байланысты орналасқан жердің құпиялылығы туралы мәселе туындай бастады (Beresford және Stajano, 2003). Сіздің икемді құрылғыңызға қызмет көрсету үрдісінде желі операторлары сіздің қайда болғаныңыз туралы біліп отырады. Бұл оларға сіздің қозғалысыңызды қадағалап отыруға мүмкіндік береді. Сіздің қандай түнгі клуб немесе медициналық орталықта болатыныңызды біледі.

Компьютерлік желілер, сондай-ақ домалақ мәлімдемені жіберу арқылы да, жеке өмірді қорғауды күшейте алады. Кейбір жағдайларда қорғаудың бұл түрі де қажет. Компанияның сіздің жеке әдеттеріңізді білуіп отыратынын есептемегенде, студенттер, солдаттар, қызметкерлер және азаматтар, репрессиядан қауіптенбей, сәйкес профессорлардың, офицерлердің, басшылардың және саясаткерлердің заңсыз әрекеттеріне шағым жасай алады. Екінші жағынан, АҚШ және басқа да демократиялық елдерде айыпталушының өзін айыптаушымен көзбе-көз беттесу құқығы, сондай-ақ қарсы талап заңда ерекше ескерілген. Сондықтан домалақ айыптау сотта куәлік ретінде қарастырылмайды.

Интернет қажетті ақпаратты аса үлкен жылдамдықпен табуға мүмкіндік береді, бірақ оның сапасы мен растығын кім тексереді? Кеудедегі шаншу туралы дәрігердің кеңесі іс жүзінде, сізге медицина саласындағы Нобель сыйлығының лауреатынан да, мектептен қуылған, істейтін ісі жоқ, жалқаудан да келуі мүмкін.

Кейбір ақпарат көп жағдайда керексіз болады. Электронды макулатура, «спам» өкінішке орай біздің өміріміздің бір бөлшегі болып алды, себебі миллиондаған e-mail адресстерді жинап алудың тәсілдері бар және олар арқылы еш шығын шығармай не болса соны жібере беруге болады. Алынған спамдардың толқыны нақты адамдардан келген мәліметтердің ағынымен бәсекелесіп жатады.

Бақытымызға орай, қазіргі таңда сүзгіш программалық жабдықтамалар басқа компьютерлерден туындаған спамдарды үлкенді кішілі табыспен айқындауда.

Контенттің басқа бір түрлері қылмыс жасау үшін құрылған. Құрамында белсенді контенті (негізінде қабылдаушының машинасында орындалатын программалар мен макростар) бар веб-парақтар мен электронды хаттардың құрамында, сіздің компьютеріңізді жаулап алатын вирустар болуы мүмкін. Олар сіздің банктегі есепшотыңыздың поролін ұрлап алу үшін немесе сіздің компьютеріңізді зақымдалған компьютерлер тобының немесе **ботнеттің** бір бөлігі ретінде спамды тарату үшін пайдалануы мүмкін.

Фишингті хабарламалар (phishing message) сенімді қайнар көзден келгендей болады да, мысалы, сіздің банктен, сіз туралы, мысалы несие картасының нөмірін сияқты қажетті ақпаратты алуға тырысады. Жеке деректерді жымқыру өте күрделі мәселе болып отыр, себебі ұрылар несие карталары мен өз құрбандарының атынан басқа да құжаттар алу үшін, олар туралы жеткілікті түрде айтарлықтай көп ақпарат жинайды.

Интернетте компьютерлердің адамдар рөлін атқаруына тосқауыл қою қиын болады. Бұл мәселе адамдар мен машиналарды тануға арналған **САРТСНА-тестердің** пайда болуына әкелді. Аталған тестерде компьютер қысқаша тану есебін шешуді сұрайды, мысалы әріптің бұрмаланған бейнесін енгізуді өтіну арқылы клиенттің адам әлде машина екенін анықтай алады (von Ahn, 2001).

Бұл үрдіс – жауап берушінің адам екенін пайымдау үшін желі арқылы сұрақ қоятын әйгілі Тьюринг тесті тақырыбының баламасы. Егер компьютерлік индустрия ақпаратты қорғау сұрақтарымен шындап айналысатын болса, бұл мәселелердің көбі әрине шешімін табады. Егер барлық хабарламалар шифрленген түрде берілсе, онда бұл жеке тұлғалардың да, ірі компаниялардың да зор шығыннан құтылып кетулеріне мүмкіндік берер еді.

Кодтау теориясы ертеректе дайындалған, оларды біз *8-таранда* зерттейтін боламыз. Мәселе мынада: аппараттық және программалық жабдықтамаларды өндірушілер қорғаушы жүйелерді енгізу қанша ақша тұратынын және мұндай қымбат өнімді сатуға тырысудың тұйыққа тірейтінін өте жақсы біледі. Бұдан басқа, мәселелердің көпшілігі программалық жабдықтаулардан кеткен қателіктер, олардың орын алатын себебі өндірушілер өздерінің программалары үшін көптеген мүмкіндіктер қосуда, ал бұл өз тарапынан кодтың да, сәйкес қателіктің де көбеюіне әкеледі. Бұл жағдайдан шығудың мүмкіншілігі программа нұсқасының кеңейгені үшін айып салу болып табылады, бірақ программалық жабдықтауды өңдеуші фирмаларды ақысыз жаңарту сияқты жарнамалық жүрістен бас тартқызу мүмкін емес қой. Әрине, фирмаларды өздері шығарған ақаулы программалардан болған шығынды өтеуге міндеттеуге болады, бірақ бұл бүкіл программалық индустрияның бірінші жылдың өзінде-ақ банкрот болуына алып келер еді.

Компьютерлік желілер, ескі заңдармен әрекеттесе келе, жаңа құқықтық мәселелерді көтеруде. Мысалы, электрондық құмар ойындар. Компьютерлер көптеген онжылдықтар ішінде әртүрлі үрдістерді моделдеп келді, енді неге ойын автоматтарын, рулеткаларды, блэк джек делдалдарын және тағы да басқа

ойын құрылғыларын үлгілемеске? Себебі, бұл көп жерлерде заңға қайшы. Бірақ көптеген басқа жерлерде (мысалы, Англияда) құмар ойындар заңды болып табылады және казино ондағы иелері құмар ойындар үшін мүмкіндікті Интернет арқылы бағалады. Егер ойыншы, казино, сервер заңдары бір-біріне қайшы, әрі әртүрлі елдерде орналасса не болар еді? Жақсы сұрақ, әрине.

1.2. ЖЕЛІЛІК ЖАБДЫҚТАР

Енді желілердің қолданысы мен әлеуметтік аспектілерінен желілерді өңдеудің техникалық жақтарына көшуге уақыт келді. Барлық желілерді қанағаттандыратын біртұтас жалпымақұлданған жүйе жоқ, бірақ маңызды екі параметр бар, олар: берілу технологиясы және өлшемдер. Екі параметрді кезекпен қарастырамыз.

Егер жалпы сипатта қарастырсақ, берілу технологиясының: **кеңтаралымды** желілер және **нүктеден нүктеге жөнелткіш желілер** сияқты екі түрі бар.

Нүктеден нүктеге жөнелткіш желілер байланысқан машиналар жұбынан тұрады. Екі нүктелі сызықтан құралған желіде нақты контекстінде десте деп аталатын хабарламалар, қайнар көзден мақсатты жерге жеткенше, мүмкін, бір немесе бірнеше аралық машиналардан өтуі керек шығар. Көп жағдайда ұзындығы әртүрлі бірнеше маршруттар болуы мүмкін, сондықтан екі нүктелі желілерде олардың ең жақсысын тауып алуға болады. Тура бір жіберуші мен бір алушысы бар екінүктелі берілісті кейде **бірбағытталған беріліс** (unicasting) деп атайды.

Кеңтаралымды желілер ондағы барлық машиналарымен бірігіп пайдаланатын біріңғай байланыс арналарының болуымен ерекшеленеді. Дестелер бір машинадан жіберіледі де, оны барлық машиналар алады. Дестені алған кезде машина оның адресілік өрісін тексереді. Егер десте осы машинаға арналған болса, ол дестені өңдейді. Басқа машиналарға арналған дестелер ескерусіз қалады.

Сымсыз желі - қызмет ету аймағында бірлесе пайдаланатын коммуникациясы бар, сымсыз арна мен жіберген машинадан тәуелді кеңтаралымды арнаның мысалы. Көз алдыңызға бөлмеде тұрып «Ватсон, бері келіңіз. Сіз маған қажетсіз» деп айқайлап тұрған адамды елестетіңізші. Бұл хабарламаны көптеген адам естігенімен, оған жауапты тек бір адам ғана қайтарады. Қалғандары жай ғана оған назар аудармайды.

Кеңтаралымды желілер, сондай-ақ дестені, мекенжай өрісіндегі арнайы кодтың көмегімен, бір уақытта барлық машиналарға арнай алады. Коды бар десте жіберілген кезде оны желінің барлық машиналары алады және өңдейді. Мұндай операция кеңтаралымды беріліс деп аталады. Кейбір кеңтаралымды жүйелер, сондай-ақ машиналардың ішкі жиынына хабарлама жіберу мүмкіндігіне ие және ол көпадресілі беріліс деп аталады.

Желілерді топтастырудың тағы бір белгісі – олардың өлшемі. Желілердің өлшемі аса маңызды топтастырушы факторлар болып саналады, себебі әртүрлі өлшемді желілер үшін әртүрлі технологиялар қолданылады. *1.4-суретте* мультипроцессорлы жүйелердің топтастырылуы олардың мөлшеріне байланысты

келтірілген. Кестенің жоғарғы жолында дербес желілер, яғни бір адамға арналған желілер орналасқан. Әрі қарай кестеде анағұрлым созылмалы желілер келтірілген. Оларды жергілікті, муниципалды және ғаламдық желілер деп бөлуге болады. Кестені екі немесе одан да көп желілердің бірігуі аяқтайды.

Процессорлар арасындағы арақашықтық	Процессорлардың орналасуы	Мысал
1 м	Бір метр квадратта	Дербес желі
10 м	Бөлме	
100 м	Ғимрат	
1 км	Кампус	Жергілікті желі
10 км	Қала	
100 км	Ел	Муниципалды желі
1000 км	Континент	Ауқымды желі
10,000 км	Планета	
		Интернет

1.4-сурет. Көппроцессорлы жүйелердің мөлшер бойынша саралануы

Мұндай бірігудің танымалы (бірақ жалғыз емес) Интернет болып табылады.

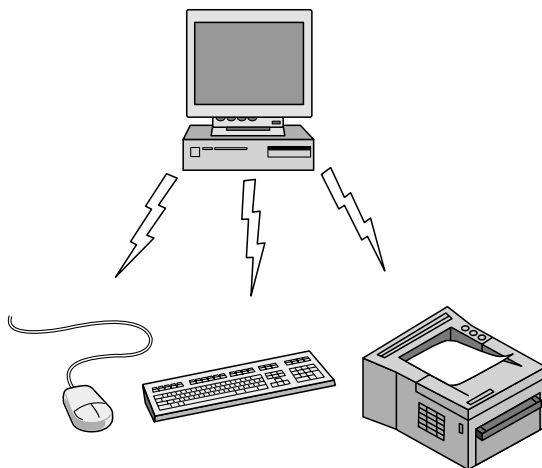
Берілген кітапта біз барлық өлшемді желілерді, сондай-ақ олардың бірігулерін қарастыратын боламыз.

1.2.1 Дербес желілер

Дербес желілер (**Personal Area Networks**) құрылғылармен адамға жақын жерден араласуға мүмкіндік береді. Дәстүрлі мысал – компьютерді оның сыртқы құрылғыларымен байланыстыратын сымсыз желі. Әрбір компьютерде оған қосылған монитор, пернетақта, тышқан және принтер бар. Сымсыз желі болмаған жағдайда, олар кабельдер арқылы жалғануы керек. Көптеген жаңа тұтынушылар керекті кабельді тауып, оны қажетті саңылауға қосу қиындықтарымен ұшырасады (олар әдетте, сәйкес түстермен белгіленсе де), сондықтан компьютер сатушылардың көпшілігі маманның қызметін ұсынады. Мұндай тұтынушыларға көмектесу мақсатында, құрамдас бөліктерді сымсыз біріктіру үшін, бірнеше компаниялар **Bluetooth** деп аталатын кіші қашықтағы сымсыз желіні құру үшін жиналды. Оның мағынасы, егер сіздің құрылғыларда Bluetooth бар болса, онда сізге ешқандай кабельдің қажеті жоқ. Сіз тек оларды қондырасыз, қосасыз, әрі қарай олар әрекеттесіп кетеді. Көптеген адамдар үшін мұндай еркіндік – үлкен олжа.

Желінің ең қарапайым түрінде Bluetooth желілері жетекші-жетектегі қағидасын

пайдаланады (Master-Slave), *1.5-сурет*. Желілік модуль (PC) әдетте, жетекші құрылғы болады да, тышқан, пернетақта, тағы басқаларға жетектегі құрылғылар сияқты қарайды. Жетекші құрылғы жетектегі құрылғыға қандай адресстерді қолдану керек, қай кезде олар кентаралымды жөнелтулерді жүзеге асыра алады, қанша уақыт бере алады, қандай жиіліктерді пайдалана алады деген сияқты мәселелерді айтып отырады.



1.5-сурет. Bluetooth дербес желісінің конфигурациясы

Bluetooth, сондай-ақ, басқа да құрылғыларда пайдаланыла алады. Ол құлаққапты ұялы телефонмен баусыз жалғау үшін жиі қолданылады және сіздің сандық музыкалық күйтабақ ойнатқышыңызды автомобиліңізбен, ол диапазон шеңберінде болған кезде, байланысуына мүмкіндік береді. Кардиоынталандырушы, инсулин сорғыш немесе есту аппараты кіріктірілген медициналық құрылғы басқармалы тұтынушымен дистанциялық басқару арқылы сөйлескен кезде дербес желілердің мүлдем басқа түрі пайда болады. Bluetooth туралы біз *4-тарауда* кеңінен әңгімелесеміз.

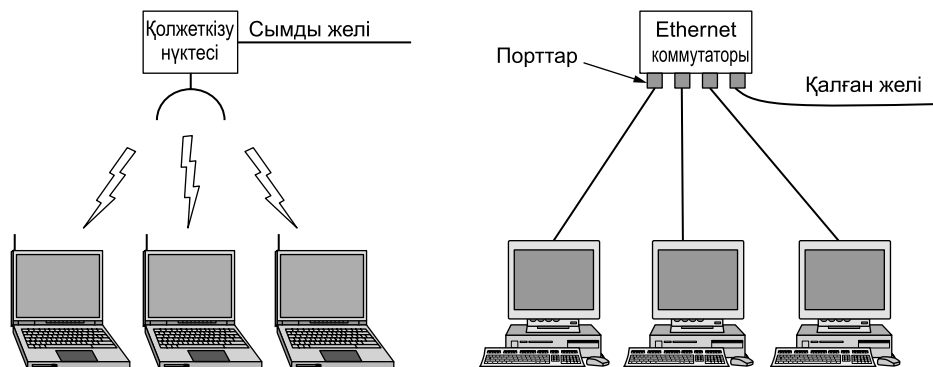
PAN, сондай-ақ, кіші қашықтықта араласатын, смарт-карталардағы RFID және кітапханалардағы кітаптар сияқты, басқа технологиялармен де құрыла алады. RFID туралы біз *4-тарауда* оқитын боламыз.

1.2.2. Жергілікті желілер

Жергілікті желілер (**Local Area Network**) деп әдетте, бір ғимаратта немесе қандай да бір ұйымның аймағында орналасқан дербес желілерді айтады. Оларды компания немесе тұрмыстық электроника кәсіпорыны офистерында ресурстарға бірігіп қолжеткізу (мысалы, принтерлерге) және ақпарат алмастыру мақсатында

компьютерлермен жұмысшы станцияларды байланыстыру үшін қолданады. Жергілікті желілерді кәсіпорындар пайдаланған жағдайда, оларды кәсіпорын желісі (**enterprise networks**) деп атайды.

Сымсыз ЖЕЖ қазір, әсіресе, үйлерде, анағұрлым ескі офистік ғимараттарда, кафетерияларда және басқа да кабельдерді жүргізу қиындық тудыратын жерлерде өте танымал. Мұндай жүйелердің әрбір компьютерді басқа компьютерлермен байланыстыру үшін пайдаланатын радиомодемі мен антеннасы бар. Көптеген жағдайларда әрбір компьютер құрылғымен *1.6 а-суретте* көрсетілгендей төбеде сөйлеседі. Қол жеткізу нүктесі (AP, **Access Point**) деп аталатын бұл құрылғы сымсыз маршрутизаторлардың немесе базалық станция болып табылады да, сымсыз компьютерлердің арасында немесе олармен Интернеттің арасында дестелерді жөнелтіп отырады. Қол жеткізу нүктесі мектептегі танымал оқушы сияқты, себебі барлығы онымен сөйлескісі келеді. Алайда, егер басқа компьютерлер жеткілікті түрде жақын болса, олар бір-бірімен ЖЕЖ түйіндерінің теңқұқықты бірігу конфигурациясында байланыса алады.



1.6-сурет. Сымсыз және сымды желілер:
а – 802.11; ә – коммутацияланатын Ethernet

WiFi есімімен анағұрлым танымал болған, **IEEE 802.11** деп аталатын сымсыз ЖЕЖ стандарты өте кеңінен таралуда. Ол секундына 11-ден жүздеген мегабитке дейінгі жылдамдықпен жұмыс істейді. (Бұл кітапта біз дәстүрді ұстанамыз да түзу жылдамдығын секундына мегабитпен, мұнда 1 Мбит/секундына 1 000 000 битті құрайды және гигабитпен, мұнда 1 Гбит/секундына 1 000 000 000 битті құрайды, өлшейтін боламыз). Анағұрлым жаңа ЖЕЖ секундына 10 Гбит жылдамдықпен жұмыс істей алады. Сымсыз желілермен салыстырғанда сымды ЖЕЖ барлық параметрлері бойынша олардан артық. Сигналды сым немесе талшық арқылы жіберу ауа арқылы жіберуден оңай.

Көптеген сымды ЖЕЖ топологиясы магистралды түзулерден құрылған. Әдетте, **Ethernet** деп аталатын, **IEEE 802.3** стандарты сымды Жергілікті есептеуіш желілерінің анағұрлым кең таралған түрі. *1.6 ә-сурет* коммутацияланған Ethernet

топологиясының типтік түрін береді. Әрбір компьютер Ethernet хаттамасында сөйлейді және коммутатор деп аталатын құрылғы арқылы магистралды сыммен жалғасады. Аталуы да осыдан шыққан. Коммутатордың әрқайсысы бір компьютермен жалғасатын бірнеше тетіктері бар. Коммутатордың жұмысы – өзіне қосылған компьютерлер арасында дестелерді жөнелтіп отыру; керекті компьютерді анықтау үшін әрбір дестедегі адрес қолданылады.

Үлкен ЖЕЖ құру үшін, коммутаторлар бір-біріне порттар арқылы қосыла алады. Егер оларды циклге біріктірсеңіз не болар еді? Желі жұмыс істей ме? Бақытқа орай, жобалаушылар бұл нұсқаны да қарастырған. Хаттамалар дестелердің жолын өзіне керекті компьютерге жететіндей етіп анықтайды. *4-тарауда* біз олардың қалай жұмыс істейтінін көретін боламыз.

Сондай-ақ, үлкен физикалық ЖЕЖ екі кішірек логикалық Жергілікті есептеуіш желілерге бөліне алады. Бұл жерде қандай артықшылық бар деген сұрақ туындайды. Кей жағдайда желілік құрал-жабдықтың орналасуы ұйымның құрылымына сәйкес болмай қалады. Мысалы, компанияның инженерлік немесе қаржы бөлімдерінің компьютерлері бір физикалық ЖЕЖ-де бола алар еді, себебі олар ғимараттың бір қанатында орналасқан, бірақ егер әрбір бөлімнің өзінің виртуалды ЖЕЖ-і (**Virtual LAN**) болса, жүйені оңай басқаруға болатын еді. Бұл құрылымда әрбір тетік нақты бір «түспен», айталық «жасыл» инженерлік бөлімше үшін, ал «қызыл» қаржы бөлімшесі үшін белгіленген. Коммутатор дестелерді жасыл порттарға қосылған компьютерлер қызыл порттарға қосылған компьютерлерден бөлінетіндей етіп бағыттайды. Қызыл порт жіберген кеңтаралымды дестелерді, мысалы, екі әртүрлі ЖЕЖ жағдайындай, жасыл порттар қабылдамайды. Виртуалды ЖЕЖ туралы біз *4-тараудың* соңында сараптама жасайтын боламыз.

Сымды ЖЕЖ үшін басқа да топология түрлері бар. Іс жүзінде, коммутацияланған Ethernet – бұл барлық дестелерді жалғыз сымды кабел арқылы жіберген Ethernet бірегей жобасының заманауи баламасы. Жөнелтуді бір уақытта бір ғана машина орындай алатын, ал шиеленістерді таратылған төрелік механизм шешетін. Бұл жерде қарапайым алгоритм қолданылатын еді: компьютер әр кез, кабел белсенді болмаған кезде жөнелтеді. Егер бір немесе бірнеше дестелер қақтығысып қалса, әрбір компьютер кездейсоқ уақыт аралығында тосып тұрып, тағы бір талпыныс жасайтын. Бұл нұсқаны біз **классикалық Ethernet** деп атайтын боламыз, ол туралы сіз *4-тарауда* танысатын боласыз.

Сымды, сымсыз кеңтаралымды желілер арнаның тағайындалу тәсіліне байланысты статикалық және динамикалық болып екіге бөлінеді. Статикалық тағайындалуда циклді алгоритм қолданылады да, машина өзіне бөлінген уақыт аралығында ғана деректерді тасымалдай алатындай, барлық уақыт бүкіл машиналардың арасында бірдей бөлікке бөлінеді. Сонымен қатар уақыт интервалдары машиналарға, олар бір нәрсе айса да, айтпаса да берілгендіктен, арнаның сыйымдылығы тиімсіз қолданылады. Сондықтан көп жағдайда арнаға қол жетімдікті динамикалық (яғни, талап бойынша) беру қолданылады.

Арнаға қол жеткізудің динамикалық беру тәсілі, сондай-ақ ортақтандырылған, немесе ортақтандырылмаған болуы мүмкін. Арнаға қол жеткізуді берудің

ортақтандырылған тәсілінде, ұялық желілердегі сияқты, машинаны анықтайтын, тасымалдауға құқық ала алатын, базалық станция сияқты бір құрылғы болуы керек. Ол көптеген дестелерді алуы керек және қандай да бір ішкі алгоритмнің негізінде басымдылық туралы шешім қабылдауы керек. Ортақтандырылмаған тәсіл кезінде ақпарат тасымалдау туралы шешімді әрбір машина өзі қабылдайды. Осы сияқты тәсіл ретсіздікке алып келеді деп ойлауға болады, бірақ олай емес. Төменде біз мүмкін болатын тәртіпсіздікке реттікті орнатуға арнайы құрылған бірнеше алгоритмді қарастыратын боламыз.

Үй жергілікті есептеуіш желілерін жеке талқылауға болады. Келешекте, мүмкін, үйдегі әрбір құрылғы кез келген басқа құрылғымен қатынаста болуға икемді және олардың барлығы Интернетке қол жеткізу болады. Мұндай даму, бәлкім, ешкім күтпеген жаңалықтың бірі болар еді (теледидардың арақашықтықтан басқару пульті немесе ұялы телефондар), бірақ олар пайда болғаннан кейін ешкім оларсыз өмірді елестете алмайды.

Көптеген құрылғылар енді желілік болуға икемді. Бұл компьютерлер – теледидар және DVD сияқты ойын-сауық құрылғылары, телефондар және камералар, радиосағаттар сияқты басқа да тұрмыстық электроника, санауыштар және термостаттар сияқты құрал жабдықтар. Бұл беталыс тек жалғасады. Мысалы, үйде, мүмкін, бірталай сағаттар (мысалы, құралдарда) бар, егер олар Интернетке қосылған болса, онда олардың барлығы жазғы уақытқа автоматты түрде өтер еді. Үйді арақашықтықтан бақылау – бұл бағыттағы мүмкін болатын көшбасшы, осылайша көптеген ер жеткен балалары қартайған ата-аналарының өздерінің үйлерінде қауіпсіз өмір сүрулеріне көмектесу үшін аз емес ақша төлеуге дайын.

Үй желілері туралы біз тағы бір ЖЕЖ сияқты ойласақ та, оның басқа желілерден ерекшелігі бар. Біріншіден, желілік құрылғылар орнатуға өте оңай болуы керек. Сымсыз маршрутизаторлар – сатып алушылар анағұрлым жиі қайтарып беретін электронды құрылғылар. Өз үйлерінде сымсыз желілердің болуын қалайтын адамдар оларды сатып алады, бірақ оның «қораптан» жұмыс істемейтіндігін аңғарғаннан кейін, сымынан келетін техникалық көмекті күту үшін музыка тыңдаудың орнына, оны қайтарып береді.

Екіншіден, желі мен құрылғы жұмыста сенімді болулары керек. Кондиционерлердің әдетте бір ауыстырып қосқышы (төрт нұсқасы бар батырма: сөндірулі, төмен, орта және жоғары) бар. Оларға 30 парақтан тұратын кеңестер қоса беріледі. Олар желіге біріккен кезде, қауіпсіздік бойынша бір тарауының өзі 30 парақты құрайды. Бұл – күрделі мәселе, себебі тек компьютер қолданушылар ғана жұмыс істемей қалған өнімдерді орната білуге машықтанған, ал компьютерді тұтынушылар компьютер маманын шақырмаса да ол 100 пайызға жұмыс істеп кетеді деп ойлайды. Автомобиль мен телевизорды сатып алушылар компьютерді тұтынушыларға қарағанда анағұрлым шыдамдырақ.

Үшіншіден, табыс үшін бағаның төмен болуы керек. Адамдар интернеттермостат үшін қосымша 50\$ төлемейді, себебі олардың көпшілігі жұмыста отырып, үйдегі температураны бақылап отыру мүмкіндігін қажет деп санамайды. Ал қосымша 5 долларға олар мұны сатып алар еді.

Төртіншіден, бір немесе екі құрылғыдан бастап, әрі қарай желіні кеңейтуге болатын мүмкіндік қажет. Бұл форматтар арасындағы қақтығыстың жоқ екендігін білдіреді. Егер тұтынушыларға IEEE 1394 (FireWire) интерфейсті сыртқы құрылғыларды ұсынып, ал бірнеше жылдан соң одан бастартып, «ай интерфейсі» ретінде USB 2.0 ұсынса, сонан соң 802.11g болмаса 802.11n, тіпті, одан да жақсы 802.16 (бұлардың барлығы әртүрлі сымсыз желілер) интерфейсін ұсынса, тұтынушылар анағұрлым ұстамды болар еді. Желілік интерфейстер, радиожолақ стандарттары сияқты, көптеген онжылдықтар бойында тұрақты болып қалуы керек.

Бесіншіден, қауіпсіздік пен сенімділік өте маңызды болады. Электронды поштадағы вирустың кесірінен бірнеше файлдарды жоғалту – бұл бір нәрсе; ал бұзақының өзінің икемді компьютерінен сіздің қауіпсіздікті қамтамасыз ету жүйеңізді бұзып, сонан соң сіздің үйіңізді тонауы – бұл тіпті, басқа нәрсе. Үй желілері сымды бола ма, әлде сымсыз бола ма деген сұрақ қызықты. Ыңғайлылық және баға сымсыз желілердің пайдалылығын білдіреді, себебі олардың сәйкес келуі немесе одан да жағымсызы желілердің модификациясы туралы ойланудың қажеті жоқ. Сымды желілер сымсыз желіге қарағанда қауіпсіздеу, себебі сымсыз желілер пайдаланатын радиотолқындардың қабырғалардан өтімділігі жоғары. Сіз өзіңіздің интернет-байланысыңызды қолданып, электронды поштаңызды оқитын көршіңізге риза болмас едіңіз. *8-тарауда* біз қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін шифрлеудің қалай қолданылатын оқитын боламыз, ал тәжірибесіз тұтынушылар үшін бұл туралы айту, оны жүзеге асырудан оңай болады.

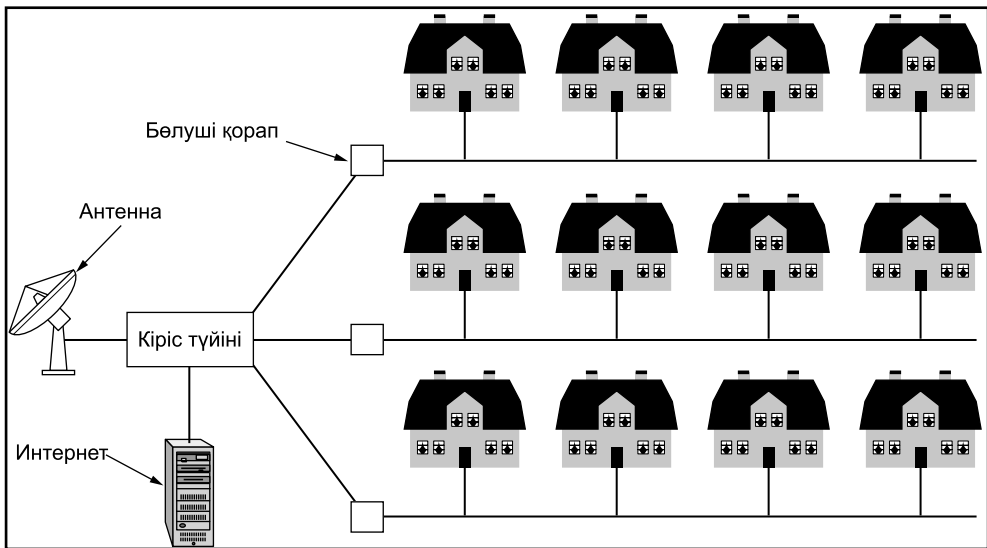
Желінің үшінші нұсқасы – сіздің үйдегі бар желіні пайдалану. Айқын кандидат – электр сымдары. Электртасымалдау сымдарының желілері оларға қосылған құрылғыларға ақпаратты үйдің барлық бұрышына тасымалдауға мүмкіндік береді. Кез келген жағдайда сіз компьютерді қосып, Интернетпен байланысты бірден ала аласыз. Қиындық қалайша бір уақытта электроэнергияны да, деректердің сигналдарын да көшіруге болады дегенде. Жауаптың бір бөлігі – олар жиіліктің әртүрлі диапазондарын пайдаланады.

Қысқаша айтқанда, локалды есептеуіш желілер көптеген мүмкіндіктер мен мәселелерді ұсынады. Мәселелердің көпшілігі, әсіресе техникадан хабары жоқ тұтынушыларға қатысты, қарапайымдылықпен, сенімділікпен және қауіпсіздікпен, сондай-ақ, төмен бағамен байланысты.

1.2.3. Муниципалды желілер

Муниципалды желілер (**Metropolitan area network, MAN**) қала төңірегіндегі компьютерлерді біріктіреді. Муниципалды желілердің ең кең тараған түрі кабелді теледидар жүйесі болып табылады. Ол, қандай да бір себептерге байланысты эфир сапасы өте төмен болған жерлер бойынша, қарапайым антенналы тележелілердің құқықтық мұрагері болып отыр. Мұндай жүйелерде ортақ антенна қандай да бір төбенің басына орнатылды да, сигналдар абоненттердің үйіне тасымалданады.

Бастапқыда объектінің өзінде құрылған мамандандырылған желілік құрылымдар пайда бола бастады. Сонан соң компания-құрастырушылар өзінің жүйелерін нарыққа жылжытумен айналысып, жергілікті үкіметпен келісімшарттар жасай бастады да, нәтижесінде бүкіл қалаларды қоршап алды. Келесі қадам теледидарлық программаларды, тіпті тек қана кабельді теледидарларға арналған арналарды құру болды. Көп жағдайларда олар қандай да бір көзқарастар аясын білдіретін. Жаңалықтарға, спортқа, кулинарияға, бау-бақшаға және т.б. арналған арналарға жазылуға болатын болды. Тоқсаныншы жылдардың соңына дейін бұл жүйелер теледидарлық қабылдауларға арналды. Интернет бұқаралық аудиторияны өзіне қаратқаннан бері кабельді теледидардың операторлары жүйеге аз ғана өзгертулер енгізіп, сол арналар бойынша, спектрдің пайдаланбайтын бөлігінде сандық деректер берілетіндей (екі жаққа да) етуге болатынын түсінді. Осы сәттен бастап кабелді теледидар біртіндеп муниципалды компьютерлік желіге айнала бастады. Бірінші жуықтауда MAN жүйесін *1.7-суретте* көрсетілгендей етіп елестетуге болады. Бұл суреттен бір сызықтың бойында теледидарлық та, сандық та сигналдардың берілетіндігін көруге болады. Олар **кірістегі құрылғыда** араласады және абоненттерге тасымалданады. Бұл сұраққа біз кейінірек *2-тарауда* оралатын боламыз.



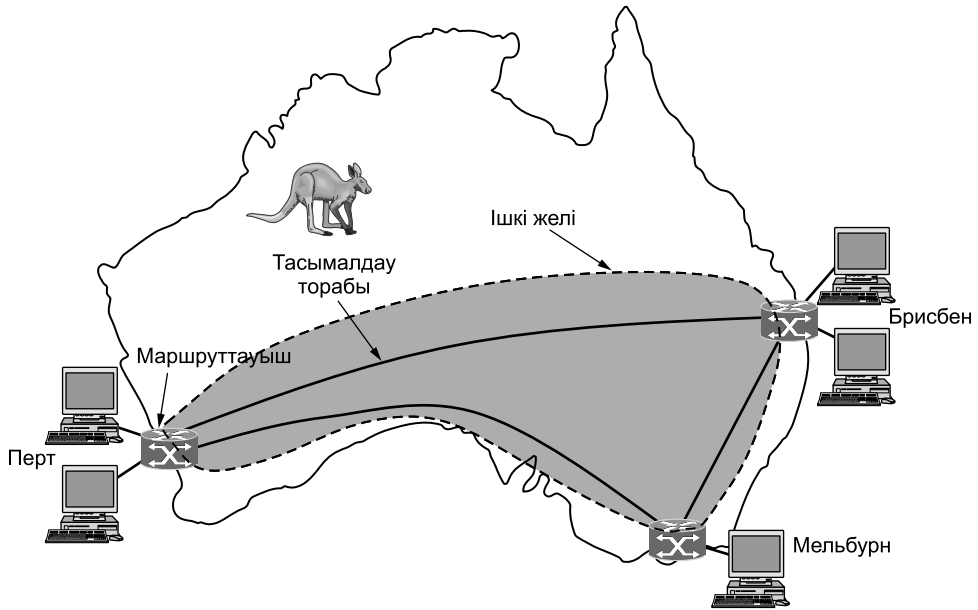
1.7-сурет. Кабельді теледидар негізіндегі муниципалды желі

Дегенмен, муниципалды желілер – бұл тек кабелді теледидар емес. Жақын арадағы Интернетке жоғарыжылдамдықты қол жеткізумен байланысты эзирлеулер, **WiMax** ретінде белгілі, IEEE 802.16 стандартында сипатталған, басқа да MAN жүйелерінің пайда болуына алып келді. Біз оларды *4-тарауда* қарастырамыз.

1.2.4 Ғаламдық желілер

Ғаламдық желілер (**Wide area network, WAN**) айтарлықтай географиялық аймақты, көбінесе, бүтіндей елді немесе тіпті континентті қамтиды. Біз әңгімені, мысал ретінде бөлімшелері әртүрлі қалаларда орналасқан компанияны алып, сымды ғаламды желілерден бастаймыз.

1.8-суретте көрсетілген желі Перт, Мельбурн және Брисбенде орналасқан офистерді жалғайды. Олардың әрқайсысында тұтынушының программасын (яғни қосымшаларды) орындауға арналған компьютерлер бар. Біз дәстүрлі терминологияны ұстанамыз да, бұл машиналарды хосттар деп атайтын боламыз. **Хосттар** қысқалық үшін жай ғана ішкі желілер деп аталатын, коммуникациялық ішкі желілермен байланысады. Ішкі желінің есебі телефон жүйесінің сөйлеушінің сөзін (яғни жай дыбыстарды) тыңдаушыға тасығаны сияқты мәлімдемені хосттан хостқа жөнелту.



1.8-сурет. Австралия жерінде үш офисті қосатын WAN

Көптеген ғаламдық желілерде ішкі желі екі жеке құрамдас бөліктерден: байланыс сымдары мен ауыстырып-қосқыш элементтерден тұрады. **Байланыс сымдары** деректерді машинадан машинаға тасымалдайды. Олар мыс сым, оптоалшық немесе тіпті, радиобайланыс та болуы мүмкін. Компаниялар көпшілігінің байланыс сымдары жоқ, сондықтан оларды телекоммуникациялық компаниялардан жалға алады. **Ауыстырып-қосқыш элементтер** – екі немесе одан да көп байланыс сымдарын жалғау үшін пайдаланылатын мамандандырылған компьютер-

лер. Деректер кіріс сымында пайда болған кезде ауыстырып-қосқыш элемент бұл деректердің әрі қарайғы бағдары үшін шығыстағы сымды тандауы керек.

Бұрын бұл компьютерлердің аталуы үшін қалыпты термин болмаған еді. Қазір оларды маршрутизаторлар (**router**) деп атайды, бірақ оқырман берілген жағдайда терминология жөнінде біртұтас пікірдің жоқ екенін білуі керек. Өкінішке орай, көптеген әзілқой сөзтапқыштар «router» сөзін аудармасы «күдікшіл» дегенді білдіретін «doubter» сөзімен ұйқастырғанды жақсы көреді, ал кейбіреулері «router» сөзінің орнына «rooter» («қопарғыш») деп жазады. Дұрыс айтылудың анықтамасын оқырманға жаттығу ретінде қалдырамыз (Бұл мәселе сіздің қай жерде тұратындығыңызбен байланысты болуы мүмкін).

«Ішкі желі» (**subset**) термині бойынша да ескерту жасап кету керек. Бастапқыда оның жалғыз мағынасы дестені бір хосттан екіншісіне жөнелтуге арналған маршрутизаторлар мен байланыс сымдары еді. Бірақ оқырмандар бұл терминнің, желідегі адрестелуге (ол туралы *5-тарауда* талқыланады) байланысты, екінші мағынасының бар екендігіне көңіл аударғаны жөн. Дегенмен, оғанға дейін біз бастапқы мағынаны пайдалана береміз (сызықтар мен маршрутизаторлар жинағы).

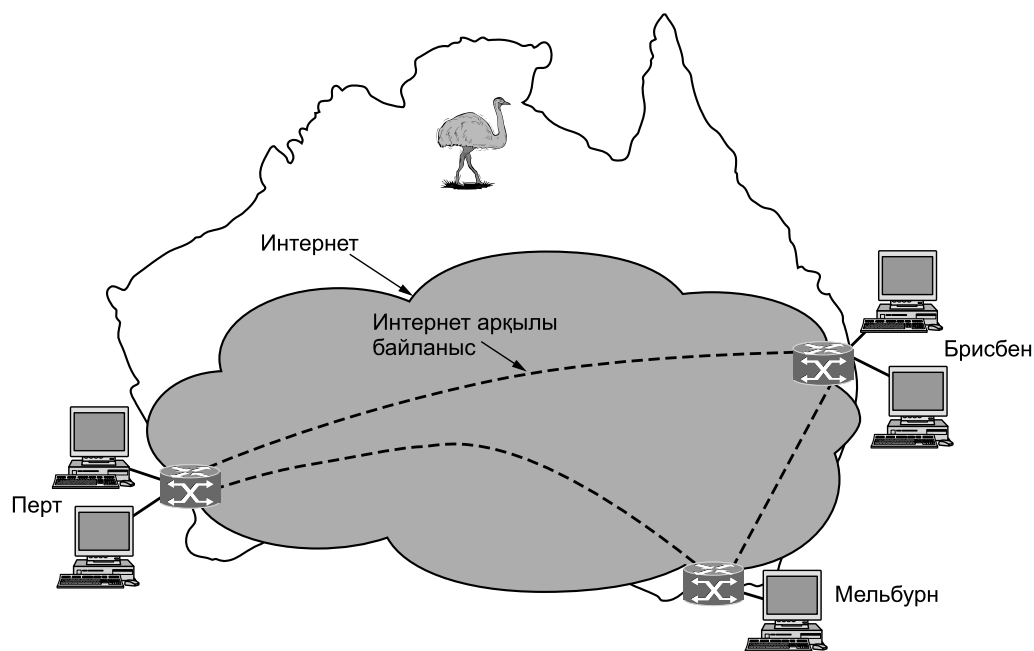
Ғаламдық желілер, біз оларды сипаттағанымыздай, үлкен сымды ЖЕЖ сияқты, бірақ, ұзын сымдарды ескермегенде, кейбір маңызды айырмашылықтары бар. Әдетте, ғаламдық желілерде түйіндер мен ішкіжелілер әртүрлі адамдарға тиесілі және олардың басқарылулары да әртүрлі. Біздің мысалда қызметкерлер, компанияның IT-бөлімі желінің басқа бөліктеріне жауап бергенде, өздерінің компьютерлеріне жауап бере алар еді. Анағұрлым айқын шекараны біз ішкі желіні желілік провайдер немесе телефон компаниясы басқаратын мысалдан көретін боламыз. Желінің (ішкі желінің) таза коммуникациялық көріністерінің қосымша (түйіндер) көріністерінен бөлінуі желінің толық жобалауын өте жеңілдетеді.

Екінші айырмашылық – маршрутизаторлар әдетте, әртүрлі желілік технологияларды жалғайды. Тасымалдаудың қашықтағы сымдары SONET (оларды біз *2-тарауда* талқылайтын боламыз) болса, осы уақытта офистағы желілер, мысалы, коммутацияланған Ethernet болуы мүмкін. Қандай да бір құрылғы оларға қосылуы керек. Көреген оқырман әңгіменің желінің біз берген анықтамасының сыртында екенін байқайды. Бұл – көптеген ғаламдық желілердің іс жүзінде біріккен немесе бірден көп желілерден құрылған күрделі желілер. Келесі тарауда біз біріккен желілер туралы көбірек айтатын боламыз.

Қорытынды айырмашылық ішкі желілермен қарым-қатынастағылармен байланысты. Бұл жергілікті есептеуіш желілермен бірігетін жеке компьютерлер немесе бүтін жергілікті есептеуіш желілер болуы мүмкін. Осылайша шағын желілерден үлкен желілер құрылады. Ішкі желілер жағдайында бәрі осылайша.

Енді біз ауқымды желілердің басқа екі түрін қарастыра аламыз. Біріншіден, тасымалдау сымдарын жалға алғанның орнына, компания өзінің офистерын Интернетпен жалғастыра алатын еді. Бұл офистар арасындағы бірігулердің виртуалды болуына және Интернеттің негізгі мүмкіндіктерін пайдалануға жағдай жасайтын еді. *1.9-суретте* көрсетілген бұл орналасуды виртуалды жеке желі (**Virtual Private Network, VPN**) деп атайды. Мамандандырылған орналасумен салыстырғанда VPN

виртуалдылық басымдыққа ие – ресурстарды (интернет-байланыстар) икемді түрде қайтадан пайдалану. Қараңыздар, төртінші офисті қосу қандай оңай.



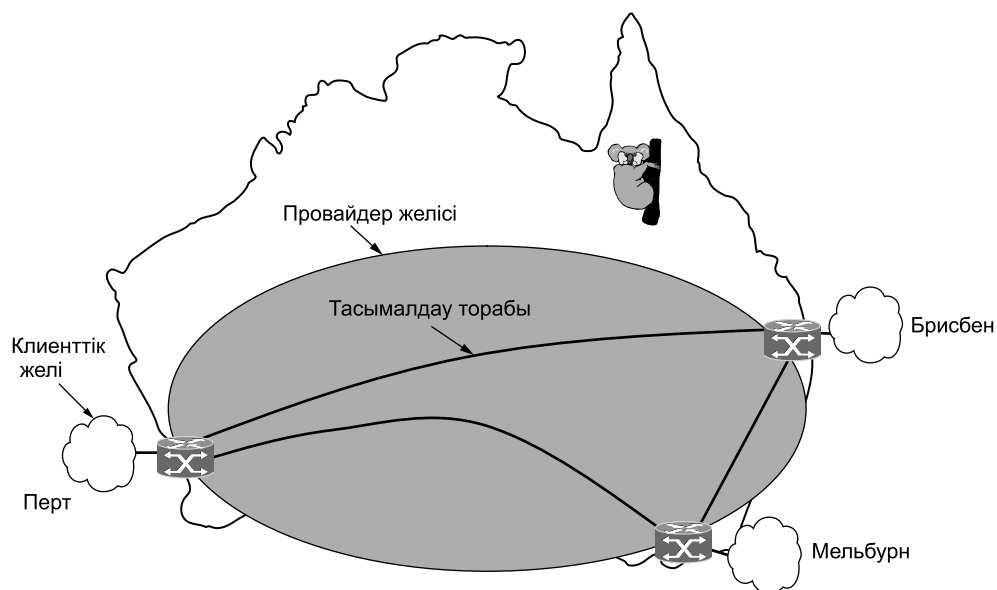
1.9-сурет. Виртуалды жеке желіні пайдаланатын WAN

Сонымен бірге VPN виртуалдаудың қалыпты кемшілігіне де ие – негізгі ресурстарды жеткіліксіз пайдалану. Белгіленген сымның өткізгіштік қасиеті түсінікті. VPN арқылы біздің шығындарымыз арақашықтық бірлігіне интернет-сервиске байланысты өзгеруі мүмкін.

Екінші өзгеріс ішкі желіге басқа фирма қызмет көрсете алуымен байланысты. Ішкі желінің операторы – желілік қызметтің провайдері, ал офистер – оның клиенттері. Бұл құрылым 1.10-суретте көрсетілген. Ішкі желінің операторы клиенттермен хабарласады да, олар ақы төлеген уақытқа дейін қызмет жасайды. Егер клиенттер тек бір-біріне дестелерді жөнелтіп отыратын болса, ал ішкі желінің операторы Интернеттің бір бөлігінде отырып, басқа желімен біріксе ол ыңғайсыз болар еді. Ішкі желінің мұндай операторын провайдер деп (**Internet Service Provider, ISP**), ал ішкі желіні провайдердің желісі деп атайды. Провайдермен байланысқан клиенттер интернет-сервиске ие болады.

Кейбір маңызды сұрақтарды құлағдар ету үшін провайдердің желісін пайдалануға болады, ол туралы соңғы тарауларда оқимыз. Маршрутизаторлар жұбын жалғастыратын ауқымды желілердің көпшілігі кабелдер мен телефон сымдарының өте көп санын қамтиды. Егер қандай да бір екі маршрутизатор байланыс сымдары арқылы тікелей жалғанбаса, онда олар бір-бірімен басқа

маршрутизаторлардың көмегі арқылы жалғануы керек. Желіде осы екі маршрутизаторды жалғайтын жолдар көп болуы мүмкін. Шешім қабылдау тәсілі **маршруттау алгоритмі** деп аталады. Мұндай алгоритмдер де көп. Әрбір маршрутизатордың дестені қайда жөнелту туралы шешімі қайтасілтеу алгоритмі деп аталады. Мұндай алгоритмдердің саны орасан зор, бұл алгоритмдердің екі типінің де кейбіреулерін біз 5-тарауда қарастырамыз.



1.10-сурет. Провайдер желісін пайдаланатын WAN

Басқа ғаламдық желілер сымсыз технологияларды қолданады. Спутниктік жүйелерде жердегі әрбір компьютер антеннамен жабдықталады да, оның көмегімен орбитадағы спутникке сигналды жібереді және оны қабылдайды. Барлық компьютерлер спутниктен сигнал қабылдайды, ал кейбір жағдайларда спутникке деректерді жөнелтіп отырған көршілес компьютерлердің хабарларын ести алады. Спутниктік желілер кеңтаралымды болып табылады және кеңтаралым қажет болған жерлерде анағұрлым пайдалы келеді.

Ұялы телефонды байланыс желісі – сымсыз технологияны пайдаланатын ғаламдық желінің тағы бір мысалы. Бұл жүйе үш кезеңнен өтті, төртіншісі көкжиекте. Бірінші кезең дыбыстың тек аналогтық тасымалын жүзеге асырды. Екінші кезең де сандық, бірақ ол да дыбысты тасымалдау үшін пайдаланылды. Үшінші кезең сандық болды және сөзді де, деректі де тасымалдауға арналды. Әрбір ұялы базалық станция сымсыз ЖЕЖ-мен салыстырғанда, анағұрлым үлкен аймақты алады және ондаған метрлер емес, километрмен өлшенеді. Базалық станциялар бір-бірімен, әдетте олар сымды, базалық желі арқылы байланысқан. Ұялы

желілердегі деректердің берілу жылдамдығы 1Мбит/с-қа жетеді, бұл жылдамдығы 100Мбит/с-ке дейін баратын сымсыз ЖЕЖ-ден анағұрлым аз. Бұл желілер жөнінде көптеген мағлұматты *2-тарауда* айтамыз.

1.2.5. Желілерді біріктіру

Қазіргі таңдағы желілер әртүрлі құралдар мен программалық жабдықтарды пайдаланады. Бір желімен байланысқан адамдар екінші желіге қосылған адамдармен қарым-қатынаста болғысы келеді. Бұл тілекті орындау үшін әртүрлі және көбінесе, бір-бірімен үйлеспейтін желілерді біріктіру қажет. Біріктірілген желілердің жинағы интержелі (internetwork, internet) деп аталады. «Интернет» (үлкен әрппен басталып жазылған) интержелінің бірі болып табылатын дүниежүзілік желіден айырмашылығы «интержелі» сөзі (кіші әрппен басталып жазылған internet) бұл кітапта барлық уақытта өзінің байырғы мағынасында қолданылатын болады. Кәсіпорындар, үй желілерін және басқаларды жалғау үшін Интернет провайдерлер желілерін пайдаланады. Кейінірек біз Интернетті егжей-тегжей қарастырамыз.

Көп жағдайларда ішкі желі, желі, интержеліні шатыстырып жатады. «Ішкі желілер» термині әдетте, бір желілік операторға тиесілі маршрутизаторлар мен байланыс сымдары жинағын білдіретін, ауқымды желілердің мәнмәтінінде қолданылады. Осыған ұқсас, телефондық жүйе бір бірімен жоғарыжылдамдықты арналармен, ал үйлер және офистермен төменгі жылдамдықты арналармен жалғасқан телефон станцияларынан тұрады. Бұл арналар мен құралдар ішкі желілердің аналогы болып табылатын телефондық компанияларға тиесілі келеді.

Телефондық аппараттардың (хосттардың аналогы) өздері ішкі желілердің бір бөлігі емес. Хосттармен бірге ішкі желі желіні құрайды. Жергілікті желілер тұрғысынан алғанда желі кабел мен хосттан тұрады. Бұл жерде ішкі желілер болмайды. Желі ішкі желі мен оның түйіндерінің қисындасуларынан қалаптасады. Бірақ «желі» сөзі көп жағдайда еркін мағынада да қолданыла береді. *1.10-суреттегі* «провайдер желілері» сияқты ішкі желінің сипатталуы желінікіндей болады. Интержелі *1.8-суреттегі* ауқымды желілер сияқты, желі ретінде сипаттала алар еді. Егер желіні басқа орналастырулардан ажыратқымыз келсе, онда біз бір технологиямен байланысқан компьютерлер жинағының түпкі анықтамасын ұстанатын боламыз.

Біріккен желіні (internetwork) құрастырушыларға сәл артық тоқталайық. Интержелі бірнеше желілерді біріктіру жолымен құрылатынын біз білеміз. Біздіңше, жергілікті және ауқымды желілердің бірігуі немесе екі Жергілікті желінің бірігуі – интержеліні құрудың дағдылы әдісі, бірақ индустрияда аймақ саласындағы терминология жөнінде біртұтас пікір жоқ. Екі мнемоникалық ереже бар. Біріншісі – егер желіні құру мен қолдаудың ақысын әртүрлі ұйымдар төлесе, біртұтас желімен емес, интержелімен істейміз. Екіншісі – егер жұмыс бірнеше технологияны пайдалануға негізделген болса (мысалы, оның бір бөлігінде кеңтаралымды және екіншісінде екітүйінді), онда мүмкін, бұл интержелі.

Тереңірек үңілу үшін біз әртүрлі екі желінің қалай қосылатыны туралы

әңгімелесуіміз керек. Аппараттық және программалық жабдықтау тұрғысынан қарағанда екі немесе одан да көп желілердің арасында байланыс орнататын және қажетті аударуды қамтамасыз ететін машинаның жалпы аталуы – шлюз. Шлюздер өздерінің жұмыс істейін хаттамаларының бағынышсатыларының деңгейі бойынша ажыратылады. Келесі бөлімнен бастап біз хаттамалардың деңгейлері мен бағынышсатылары туралы әлдеқайда көбірек айтатын боламыз, бірақ әзірше анағұрлым жоғарғы деңгейлер Web сияқты қосымшаларға, ал анағұрлым төмен деңгейлер Ethernet сияқты хабарлар арнасына байланған деген болжамды ұстанамыз.

Интернетті қалыптастырудан келетін пайда – желілер арқылы компьютерлерді жалғау болғандықтан, біз тым төмендеңгейлі шлюзді қолданғымыз келмейді, әйтпесе желілердің әртүрінің арасында жалғауды орнатуға қабілетіміз болмай қалады. Біз тым жоғарғыдеңгейлі шлюзді де пайдаланғымыз келмейді, әйтпесе, бірігу тек кейбір қосымшалармен ғана жұмыс істейтін болады. Бізге «дөп келетін» ортадағы деңгейді желілік деңгей деп жиі айтады және маршрутизатор дестелерді желілік деңгейде өңдейтін шлюз болып табылады. Енді біз интержеліні маршрутизаторы бар желі ретінде анықтай аламыз.

1.3. ЖЕЛІЛІК ПРОГРАММАЛЫҚ ЖАБДЫҚТАУ

Алғашқы желілер жиналған кезде, негізгі назар аппаратураға аударылды да, ал программалық жабдықтау сұрақтары кейінге қалдырыла берді. Дәл осындай стратегия енді жұмыс істемейді. Қазіргі таңдағы желілік программалық жабдықтау жоғары дәрежеде жіктелген. Келесі тарауларда біз бұл жіктелудің қалай жүзеге асатындығы туралы айтамыз. Сипатталған тәсіл бүкіл кітаптың іргетасы және әрі қарай жиі кездесетін болады.

1.3.1. Хаттамалардың бағынышсатылары

Құрылымын ықшамдау үшін көптеген желілер **деңгейлер** немесе **қабаттар** жинағына ұйымдастырылады да, әрбір келесі желі алдыңғысының үстіне көтеріледі. Деңгейлердің саны, олардың аталуы, мазмұны мен тағайындалуы желіден желіге өзгешеленеді. Бірақ барлық желілерде әрбір деңгейдің мақсаты өзінен жоғары деңгейлерге қайсыбір сервисті ұсыну. Сонымен бірге ұсынылған сервисті жүзеге асырудың егжей-тегжейі жасырын болады.

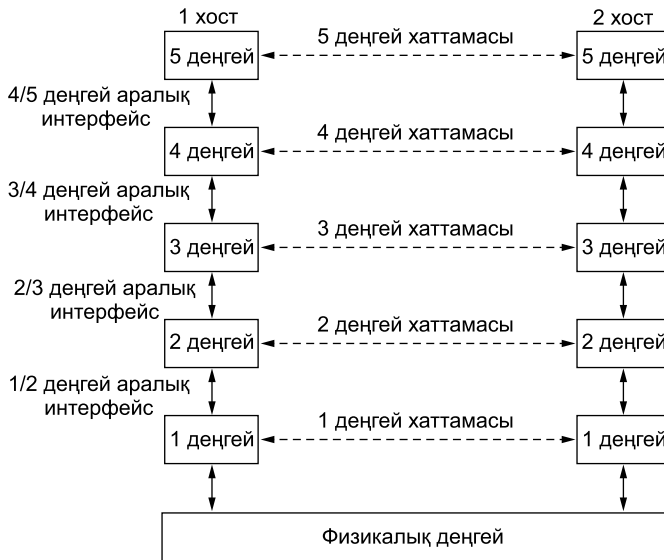
Мұндай тұжырымдама жаңалық емес және есептеуіш техникада бұрыннан бері қолданып келеді. Оның түрлері ақпаратты жасырып қалу, деректердің абстрактілі типі, инкапсуляция қасиеті және объектіге бағытталған программалау ретінде танымал. Іргелі ойлар – өзінің ішкі күйі мен алгоритмдерінің егжей-тегжейін ашпай-ақ өзінің тұтынушыларына кейбір программалық және аппараттық деңгейде сервис ұсыну.

Бір машинаның n -ші деңгейі екінші машинаның n -ші деңгейімен байланыста

болады. Мұндай қарым-қатынастың ережелері мен келісімдері **n-ші деңгейдің хаттамасы** деп аталады. Шын мәнісінде, хаттама араласушы жақтардың қарым-қатынасы қандай болу керек жөніндегі уағдаластық болып табылады. Бикешті жігітке таныстырғанда бикеш оған өзінің қолын ұсынғаны сияқты. Жігіт өз тарапынан, егер бикеш іскерлік кездесудегі американдық адвокат болса, онда оның қолын қысу немесе бикеш ресми балдағы еуропалық ханшайым болса, оның қолынан сүю туралы шешім қабылдай алады. Хаттаманы бұзу қарым-қатынаста қиындықтар туғызуы немесе тіпті, оны болдырмай тастауы мүмкін.

1.11-суретте бесдеңгейлі желі келтірілген. Әртүрлі машиналардағы деңгейлерді қамтитын объект желінің теңрангілі немесе теңқұқықты түйіні деп аталады. Дәл солар хаттамалардың көмегімен араласады.

Шын мәнінде, деректер бір машинаның n-ші деңгейінен екінші машинаның n-ші деңгейіне жіберілмейді. Оның орнына әрбір деңгей деректер мен басқаруды, ең төменгі деңгейге жетпегенше, төменде жатқан деңгейге жөнелтіп отырады. Бірінші деңгейден төмен, бойында ақпарат алмасу жүзеге асырылатын **физикалық орта** орналасқан. *1.11-суретте* виртуалды араласу үзік сызықтармен, физикалық араласу тұтас сызықпен көрсетілген.



1.11-сурет. Деңгейлер, хаттамалар және интерфейстер

Әрбір көршілес деңгейлер жұбы арасында, төменгі деңгейдің жоғарғы деңгейге беретін қарапайым операциялар жинағын анықтайтын **интерфейс** болады. Желіні әзірлеушілер желіге неше деңгейді қосу керек және әрбір деңгей не істеуі керек деген мәселені шешетін кезде, маңызы зор есептердің бірі деңгейлер арасындағы айқын интерфейстерді анықтау болып табылады. Осы тәрізді есеп, өз тарапынан,

әрбір деңгейдің барынша түсінікті функциялардың ерекше жинағын орындауын талап етеді. Деңгейлер арасында берілген ақпарат санын минимизациялауға қосымша, айқын ажыратылған интерфейстер, сондай-ақ деңгейдің жүзеге асуының мүлдем жаңа хаттамаға немесе жүзеге асырылуға (мысалы, телефон сымдарының барлығын спутник арналарына ауыстыру) өзгеруін анағұрлым жеңілдетеді, себебі бұл жағдайда жаңа хаттамадан немесе жүзеге асырылудан, төменгі деңгейге қандай қызметтер жасалса, жоғарғы деңгейге тура сондай қызметтер жинағын көрсеткені ғана талап етіледі.

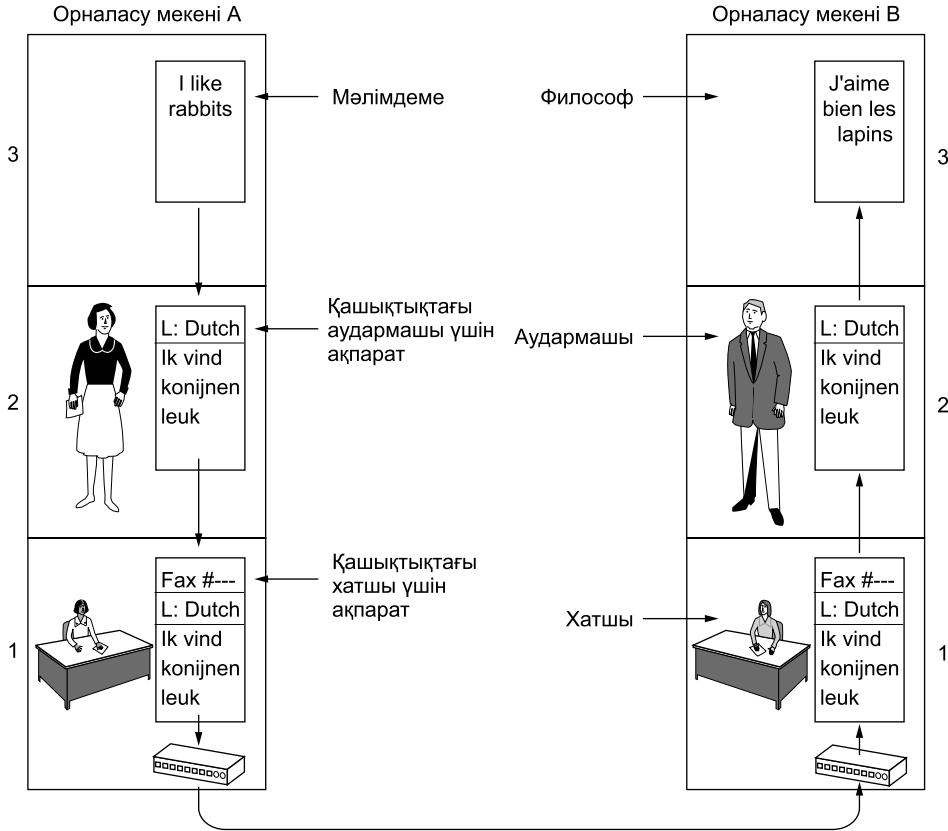
Әбден қалыпты құбылыс – әртүрлі жүзеге асырылуға жататын, бір ғана хаттаманың хосттарын пайдалану (жиі-жиі әртүрлі компаниялар жазатын). Іс жүзінде, жоғарғы және төменгі деңгейлерге жоламай, ағымдағы деңгейдің хаттамасының өзі өзгере алады.

Деңгейлер мен хаттамалар жинағы желінің архитектурасы деп аталады. Архитектура ерекшелігі, олар хаттамалардың талаптарын дұрыс орындау үшін, әрбір деңгейдің программалық жабдықтауын жазуға немесе аппаратурасын құруға арналған ақпаратты жеткілікті түрде қамтуы керек. Не жүзеге асырудың егжей-тегжейі, не интерфейсстің ерекшелігі архитектураның бөліктері бола алмайды, себебі олар машинаның ішінде жасырынған және сыртынан көрінбейді. Сонымен бірге, барлық машиналардың интерфейстерінің бірдей болуы міндетті емес, әрбір машина барлық хаттамаларды дұрыс қолданса болғаны. Жүйенің деңгейге бір хаттамадан қолданатын хаттамаларының тізімі хаттамалар стегі деп аталады. Желілік архитектуралар, хаттамалар стегі және хаттамалардың өздері берілген кітаптың негізгі мәселелері болып табылады.

Көпдеңгейлі қарым-қатынас идеясын оңай түсіну үшін, келесі үйлестікті пайдалануға болады: көз алдыңызға екі философты елестетіңіз (үшдеңгейлі біррангты үрдіс), біріншісі урду және ағылшын тілдерінде, ал екіншісі – қытай және француз тілдерінде сөйлейді. Олар араласа алатын ортақ тіл болмағандықтан, әрқайсысы аудармашы қызметін пайдаланады (екі деңгейлі біррангты үрдіс), әрқайсысы өз тарапынан хатшыны алады (екі деңгейлі біррангты үрдіс). Бірінші философ өзінің әңгімелесушісіне *oryctolagus cuniculus* түріне құштарлығын білдіргісі келеді. Ол үшін 2/3 интерфейс бойынша ол *1.12-суретте* көрсетілгендей «мен көжектерді жақсы көремін» дей отырып, өзінің аудармашысына (ағылшын тілінде) хабарлама жібереді. Аудармашылар бейтарап, голланд, тілде сөйлесуге келіскен, сонымен хабарлама «Ik hou van konijnen» болып түрленеді. Тілді таңдау екінші деңгейлі хаттама болып табылады және екі деңгейлі біррангті үрдістермен жүзеге асырылады.

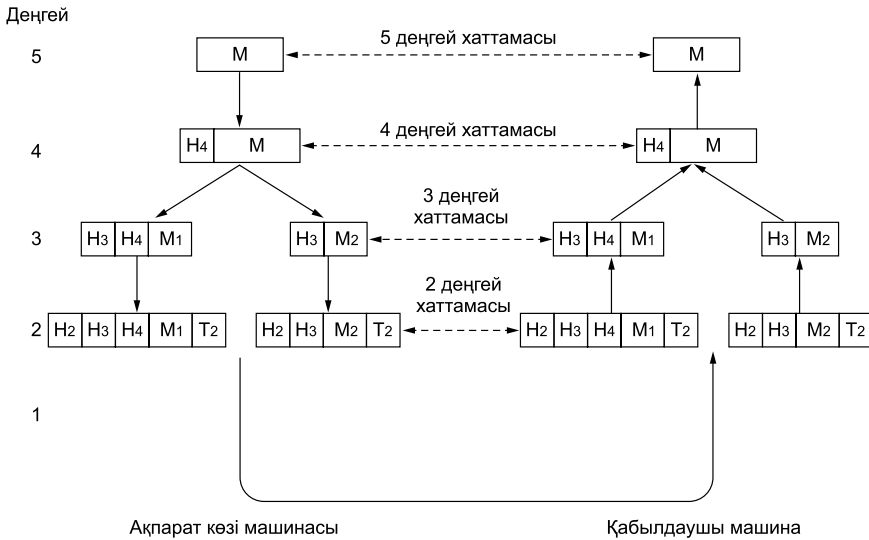
Әрі қарай аудармашы хабарламаны тасымалдау үшін хатшыға жібереді, мысалы, электронды пошта арқылы (бірінші деңгейлі хаттама). Хабарламаны екінші хатшы алған кезде, ол ағылшын тіліне аударылады және 2/3 интерфейс арқылы екінші философқа жіберіледі. Әрбір жақтан интерфейстер бірдей болғандықтан, әр хаттаманың басқалардан толығымен тәуелсіз екенін байқайық. Аудармашылар голланд тілінен, айталық, фин тіліне, екеуі де келіскен жағдайда өте алады, сонымен қатар, екінші деңгейдегі интерфейсстерде бірінші немесе үшінші деңгейлермен еш

өзгеріс болмайды. Дәл осылайша хатшылар факсты, басқа деңгейлерді қозғамай-ақ (тіпті, хабарласпай-ақ), электронды поштаға немесе телефонға ауыстыра алады. Өрбір өзгеріс тек өз деңгейінде ақпарат алмасуды қосады. Бұл ақпарат анағұрлым жоғарғы деңгейге берілмейді.



1.12-сурет. Философ – аудармашы – хатшы архитектурасы

Енді техникалық мысалды қарастырайық: жоғарғы деңгей үшін 1.13-суреттегі бесдеңгейлі желіні қалай қамтамасыз етуге болады. Бесінші деңгейде жұмыс істейтін М хабарламасын қосымша өндіреді және тасымалдау үшін төртінші деңгейге жіберіледі. Төртінші деңгей хабарламаны сәйкестендіру үшін оған тақырып қосады да нәтижені үшінші деңгейге жібереді. Тақырып, қабылдаушы машинаның төртінші деңгейіне мәліметті жеткізуге рұқсат ететін басқарушы ақпаратты, мысалы, адресті қосады. Кейбір деңгейлерде қолданылатын басқарушы ақпараттың басқа мысалы реттік нөмір (егер төменгі деңгей мәліметтің ретін сақтамайтын болса), мөлшер және уақыт бола алады.



1.13-сурет. Бесінші деңгейдегі ақпарат ағынының мысалы

Көптеген желілерде төрт деңгейде берілген хабарламалар мөлшер бойынша шектелмейді, бірақ осындай шектеулер дерлік барлық уақытта үшінші деңгейдің хаттамасына қондырылады. Сәйкесінше, үшінші деңгей кірістегі хабарламаларды анағұрлым ұсақ бірліктерге – дестелерге, әрбір дестені үшінші деңгейдің тақырыптарында ескерте отырып, бөлшектеуі керек.

Осудің аспекті әртүрлі желілік технологиялардың әртүрлі шектеулерінің болуында. Мысалы, жіберілген хабарламаларды нөмірлеу салдарынан олардың ретін сақтамайтын байланыс арналары бар. Басқа бір мысал – желілер тасымалдай алатын хабарламалардың максималды мөлшеріндегі айырмашылық. Бұл бөлу, тасымалдау және сонан соң қайтадан мәліметтерді жинау механизмдеріне алып келеді. Бұл тақырыпты біріктірілген желілермен жұмыс деп атайды. Берілген мысалда M хабарламасы M_1 және M_2 болып екі бөлікке бөлінеді.

Үшінші деңгей шығыстағы сымдардың қайсысын пайдалану керек екенін шешеді және дестелерді екінші деңгейге береді. Екінші деңгей әрбір дестеге тақырып қосып қана қоймай, сондай-ақ бақылаушы қосынды (trailer) аяқтаушы тізбекті де қосады, сонан соң нәтижені физикалық тасымалдау үшін бірінші деңгейге береді. Аларман машинада хабарлама деңгейлер бойынша жоғары қозғалады, сонымен бірге хабарламаның өрлеу шамасына сәйкес тақырыптар әрбір деңгейде алынып тасталынады. Төменгі деңгейлердің тақырыптары анағұрлым жоғарғы деңгейлерге берілмейді.

Виртуалды және шынайы араласу арасындағы қатынасты және хаттама мен интерфейс арасындағы айырмашылықты білу керек. Мысалы, төртінші деңгейдегі біррангілі үрдістер өзінің қарым-қатынасын, төртінші деңгей хаттамаларын қолданатын, горизонтальді деп есептейді. Олардың әрқайсысының, егер бұл

процедуралар іс жүзінде бір-бірімен емес, $\frac{3}{4}$ интерфейсін көмегімен төменгі деңгейлермен қарым-қатынаста болса да, SendToOtherSide (басқа жаққа жіберу) және GetFromOtherSide (басқа жақтан алу) сияқты аталатын процедуралары болады.

Біррангілі үрдістерді абстракциялау желілерді жобалауда маңызды мәселе болып табылады. Оның көмегімен орындалмайтын бүкіл желіні өңдеу есебі көлемі жағынан анағұрлым кіші және шешілуі әбден мүмкін өңдеу мәселелеріне, атап айтқанда, дербес деңгейлерді өңдеуге, бөлшектеуге болады.

Бұл бөлім «Желілік программалық жабдықтау» деп аталғанымен хаттамалар бағынышсатыларында төменгі деңгейлер аспапты немесе программалық-аспапты жүзеге асырылатындығын атап өткен жөн. Әйтсе де, бұл жағдайда, аппаратураға ішінара немесе бүтіндей енгізілсе де, хаттамалардың күрделі алгоритмдері қолданылады.

1.3.2. Деңгейлерді өңдеу

Компьютерлік желілерді құруда пайда болатын өңдеудің кейбір маңызды қырлары деңгейден деңгейге өткенде туындай береді. Төменде біз олардың кейбіреулерін қысқаша сипаттайтын боламыз.

Сенімділік деп желіні оның компоненттер жинағының әрқайсысы өздігінен сенімсіз бола тұрса да, оны дұрыс жұмыс істейтіндей етіп жобалау мәселесін айтады.

Желі бойымен орын ауыстырып отыратын дестенің биттерін елестетіңіз. Бұл биттердің кейбіреулері кездейсоқ электр шуының, кездейсоқ сымсыз сигналдардың салдарынан, аппараттық құралдардың жетіспеушілігінен, программалық жабдықтаудың қателігінен және т.б. зақымданған (инверсияланған) түрде алынуы мүмкін. Бұл қателерді тауып, оларды түзету мүмкін бе?

Алынған ақпараттағы қателерді табудың механизмдерінің бірі **қателерді байқауға** арналған кодтарды пайдалану. Дұрыс алынбаған ақпарат дұрыс алынбағанша қайтадан жіберілуі мүмкін. Анағұрлым күшті кодтар, бастапқыда дұрыс алынбаған биттерден дұрыс хабарламаны қалпына келтіріп, **қатені жөндеуді** ескереді. Екі механизм де артық ақпаратты қосу арқылы жұмыс істейді. Олар жеке арналардан жіберілген дестелерді қорғау үшін төменгі деңгейлерде және дұрыс мағына алынғандығын тексеру үшін жоғарғы деңгейлерде жұмыс істейді.

Сенімділіктің басқа бір мәселесі – желі арқылы жұмысшы жолды табу. Көп жағдайда тағайындаудың көзі мен орны арасында алуан түрлі жолдар болады, ал үлкен желіде кейбір арналар мен маршрутизаторлар саптан шығып қалады. Германияда желінің саптан шығып қалғанын елестетіңіз. Лондоннан Римге Германия арқылы жіберілген десте өтпейді, бірақ біз оның орнына дестені Лондоннан Римге Париж арқылы жібере аламыз. Желі бұл шешімді автоматты түрде қабылдауы керек. Бұл тақырып маршрутизация деген атауды жамылған.

Жобалаудың екінші мәселесі желінің дамуына байланысты. Уақыт өткен са-

йын желілер ұлғая береді және оларға жалғанатын жаңа жобалар да пайда болады. Біз өзгерістерді қолдайтын құрылымдаудың негізгі механизмі – толық мәселені бөлшектеу және орындалу тетіктерін жасыру: хаттамаларды бағынышсатылы етіп көрсету. Басқа да көптеген стратегиялар бар. Бұл механизмді төменгі және жоғарғы деңгейге сәйкес **адрестеу** немесе **атау** деп атайды.

Желіде компьютерлер көп болса, әрбір деңгей әр хабарлама үшін жөнелтуші мен алушыны теңестіретін механизмдерге мұқтаж болады.

Желілер ұлғайған сайын, жаңа мәселелер туындай береді. Қалаларда кептелістердің орын алуы, телефон нөмірлерінің жетіспеушілігі және оңай жоғалып кетуі мүмкін. Үйлерінің жанында мұндай мәселелер көп адамдарда болмауы, бірақ жалпы қаланы қамтығанда бұл үлкен мәселеге айналуы мүмкін. Желі ұлғайғанда өз жұмысын жақсы жалғастыра беретін жобаларды масштабталған деп атайды.

Жобалаудағы үшінші мәселе – ресурстарды тарату. Желілер түйіндерге қызметті, тасымалдау сымының мүмкіншілігі сияқты, өзінің негізгі ресурстарынан көрсетеді. Қызметті жақсы көрсету үшін олар ресурстарды бір түйін екінші түйіннің жұмысына кедергі етпейтіндей етіп бөлшектейтін механизмдерге зәру.

Көптеген жобалар әрбір түйінге өткізгіштік қабілеттіктің белгіленген бөлігін бермей-ақ, түйіндердің қысқамерзімді мұқтаждықтарына сәйкес, желілік өткізгіштік қабілеттікті динамикалық түрде пайдаланады. Бұл тәсіл, талап ету статистикасына негізделген бірігіп пайдалануды білдіретін, статистикалық мультиплекстеу деп аталады. Бұл төменгі деңгейдің бір байланыс арнасында немесе желі үшін жоғарғы деңгейлерде немесе желіні пайдаланатын қосымшаларға да қолданыла алады.

Әрбір деңгейде орын алатын таралу мәселесінің мақсаты жылдам жөнелтушінің баяу алушыны деректермен басып тастамауына тосқауыл болу. Алушыдан жөнелтушіге кері байланыс жиі қолданылады. Оны ағындарды басқару деп атайды. Кейбір жағдайларда мәселе өте көп компьютерлер өте үлкен көлемді ақпаратты жөнелткісі келеді де, желі барлығын тасымалдай алмай қалады, яғни желі шамадан тыс жүктелгендіктен туындайды. Желінің бұл жүктелуін жиналудеп атайды. Шешімнің бір стратегиясы – мұндай жағдайда әрбір компьютерден өзінің сұранысын азайтуды талап ету болып табылады. Бұл сондай-ақ әрбір деңгейде қолданыла алады.

Қарапайым өткізгіштік қабілеттілігінен желінің ресурстарды көбірек ұсына алатындығы қызықты жайт. Шынайы уақытта бейнені тасымалдауды қолдану үшін өз уақытында жеткізудің маңызы зор. Желілердің көпшілігі қосымшаларға сервисті шынайы уақытта көрсетуі керек және дәл сол уақытта жоғарғы өткізгіштік қабілетті талап ететін қосымшалармен де жұмыс істейді. Қызмет сапасы – осындай бәсекелес талаптарды реттейтін механизмдер.

Соңғы басты мәселе желінің орнықтылығы – желіні қауіп-қатердің әртүрінен қорғауды қамтамасыз ету. Біз ертеректе ескертіп кеткен қауіптің бір түрі – коммуникациялы жасырын тыңдау. Құпиялықты қамтамасыз ететін механизмдер осы қауіп-қатерден қорғайды және олар көптеген деңгейлерде қолданылады.

Аудентификацияға арналған механизмдер біреу екінші біреудің ролін ойнағанына кедергі болады. Олар жасанды банктік веб-сайттарды шынайылардан ажыратуға немесе ұялы байланысқа есеп шотты төлеуге арналған қоңыраудың шындығында да сіздің телефоннан шығып тұрғанын тексеруге мүмкіндік берер еді. Басқа механизмдер бүтіндік үшін «Менің есеп-шотымнан 10\$ шешіңіз» деген хабарламаның «Менің есеп-шотымнан 100\$ шешіңіз» сияқты хабарламаға жасырын өзгерісінің алдын алады. Бұл жобалардың барлығы, біз *8-тарауда* оқитын, криптографияға негізделген.

1.3.3. Жалғауға негізделген және жалғауы орнатылмаған қызметтер

Деңгейлер жоғары тұрған деңгейлерге қызметтің: бірігуі орнатылған және орнатылмаған сияқты екі түрін көсете алады. Бұл бөлімде біз осы типтердің әрқайсысы нені білдіреді және олардың айырмашылығы неде екенін қарастырамыз.

Жалғауға негізделген сервистің қарапайым мысалы телефон байланысы. Біреумен сөйлесу үшін тұтқаны көтеріп, нөмірді теру және сөйлесіп болған соң тұтқаны орнына қою керек. Осыған ұқсас нәрсе компьютер желісінде де орын алады: байланыс орнатылған сервисті қолданған кезде абонент алдымен байланысты орнатады, сеанс аяқталған соң оны үзеді. Бұл трубаны еске түсіреді: мәліметтер биттері оның бір соңынан кіреді және екінші соңынан шығады. Көптеген жағдайларда бұл биттерді тасымалдау тізбегі бойынша шатасу мәселесі туындамайды.

Кейбір жағдайларда тасымалдаудың алдында жөнелтуші және алушы машиналар, бір-біріне бірігудің хабарламаның максималды көлемі, сервистің қажетті саны сияқты параметрлерін жіберіп, сәлемдесулерімен алмасады. Көп жағдайда бірінші жақ сұранысты жібереді, екіншісі оны қабылдайды, хабарламаны қабылдамайды немесе қарсы шарттарды қояды. Сым- өткізгіштік қабілеті бекітілген сияқты байланысқан ресурсты бірігудің басқа аталуы. Бұл атау сым телефон әңгімелерін тасымалдайтын мыс трубасының бойындағы жол сияқты, телефон желісінің тарихынан туындаған.

Қарама қайшы мысал – бірігу орнатылмаған сервистер, бұл технологияның қарапайым бір үлгідегі мысалы, пошта жүйелері. Әрбір хатта тағайындалудың толық адресі бар және басқа хаттардан тәуелсіз қандай да бір маршрут арқылы өтеді. Әртүрлі контексті хабарламалар үшін әртүрлі атаулар бар: десте – желілік деңгейдегі хабарлама. Аралық түйіндер ақпаратты толығымен оны келесі түйінге жөнелтуден бұрын алғанда, оны аралық буферизациялы коммутация деп атайды. Басқаша түрі – деректі тасымалдау, оны түйін толығымен қабылдағаннан бұрын жүрсе, толассыз тасымалдау деп аталады. Әдетте, ерте жіберілген хат өзінің тағайындалу орнына ерте жетеді. Солай бола тұрса да, кейде бірінші хат бөгеліп қалады да, одан кейін жіберілген екінші хат ерте келеді.

Әрбір қызмет **қызмет көрсету сапасымен** сипатталады. Кейбір қызметтер

деректерін ешқашан жоғалпайтын мағынада сенімді деп аталады. Әдетте, сенімді қызмет алушының әрбір хабарламаға жіберген растамалары құптау арқылы жүзеге асады, осылайша жөнелтуші кезекті хаттың жеткені немесе жетпегені туралы біліп отырады. Растауды қайта жөнелту үрдісі қосымша шығындарды талап етеді және арнаның өткізгіштік қабілетін төмендетеді. Дегенмен, кейде ұнамсыз болғанымен, мұндай шығындар әдетте, үлкен болмайды және өзін өзі ақтайды.

Бірігуге негізделген сенімді қызметтің қажеттілігінің қарапайым мысалы файлдарды қайта жөнелту. Файлдың иесі оның барлық биттерінің ақаусыз және жіберілген ретімен жеткеніне сенімді болғысы келеді. Тасымалдау анағұрлым жылдам жүрсе де ақпаратты ақаумен жеткізетін қызметті таңдайтындар табыла қоймас.

Жалғауға негізделген сенімді қызметтердің екі түрі: хабарламалар тізбегі және байттық ағындар болады. Бірінші түрде хабарламалар арасындағы шекара сақталады. Мөлшері 1 Кбайттан болатын екі хабарлама тасымалданған кезде олар екі килобайттық бір хабарлама емес, 1 Кбайттық әртүрлі екі хабарлама болып жетеді. Екінші түрде байланыс жеке хабарламаларға бөлінбеген жай ғана байттар ағынын білдіреді. 2048 байт алушыға жеткен кезде оның ұзындығы 2 Кбайт болатын бір хабарлама ма, жоқ әлде ұзындығы 1 Кбайттан болатын екі хабарлама немесе 2048 бірбайттық хабарлама екендігін анықтауға еш мүмкіндік болмайды. Егер кітаптың парақтары желі бойынша фотожинақты машинада жеке хабарламалар түрінде жіберілсе, онда мүмкін хабарламалар арасындағы шекараларды сақтау қажет болады. Екінші жағынан, DVD-фильмдерді жүктеу үшін, серверден қолданушының компьютеріне байттар ағыны болуы әбден жеткілікті. Фильмнің ішінде хабарламалар шекарасы маңызды емес.

Растауды қайта жөнелтумен байланысты бөгелулері жағымсыз болатын жүйелер бар. Мұндай жүйенің мысалы ретінде сандық дауысты байланыс пен IP-телефонияны алуға болады. Бұл жағдайда растауларды жөнелту мен деректер блогын қайта тасымалдаумен байланысты болатын үлкен бөгелулерден гөрі сымдағышулар немесе ақауланған сөздерді жіберген артығырақ. Осылайша, бейнеконференцияны өткізгенде жеке дұрыс емес пиксельдер бейненің шұғыл түрткілі қозғалысынан гөрі аз ғана мәселе болып көрінеді; Ағын тоқтап, қателерді жөндей бастағанның салдарынан біз жұлқынған және тоқтап қалған кадрлерді көретін боламыз.

Барлық қосымшалар жалғауды орнатуды талап ете бермейді. Мысалы, спаммерлер электронды пошта арқылы көптеген алушыларға жарнаманы жөнелтеді. Спаммер, бәлкім, әрбір жеке хабарламаны қайта жөнелту үшін байланыс орнатқысы келмейді де, бір объектіні ғана жібергісі келеді. Сондай-ақ бұл жағдайда, әсіресе ол құнды маңызды ұлғайтатын болса, 100 пайыздық сенімділіктің де қажеті жоқ. Бар керегі – кепілі жоқ, бірақ алыну ықтималы жоғары болатын хабарламаны тасымалдаудың тәсілі. Жалғануы орнатылмаған сенімсіз (яғни растауы жоқ) қызмет көбінесе, жөнелтушіге растауды бермейтін телеграфтық қызмет сияқты, **дейтаграмм қызметі** немесе дейтаграммалық қызмет деп аталады. Төмен сенімділігіне қарамастан, бұл – себебі кейінірек түсіндірілетін, көпшілік желілердің басымды түрі.

Кейде хабарламаларды қайта жөнелту үшін байланысты орнатпау, бірақ сенімділік маңызды болатын жағдайлар маңызды болады. Мұндай қызмет **растауы бар дейтаграмм қызметі** деп аталады. Ол алынғандығы расталуы керек тапсырыс хатын жөнелтуге ұқсайды. Растауды алған соң жөнелтуші хаттың жолда жоғалып кетпей жолданым иесіне жеткендігіне сенімді болып отырады. Оның мысалы, ұялы телефондар арқылы жіберілген мәтіндік хабарламалар.

Сонымен қатар жөнелтуші сұранысы бар дейтаграмманы жіберіп, алушыдан жауапты алатын сұраныстар мен жауаптар қызметі болады. Әдетте, сұраныстар мен жауаптар моделі клиент-сервер моделінде араласуды жүзеге асыру үшін қолданылады: клиент сұранысты жібереді де, сервер оған жауап береді. Мысалы, ұялы телефонды тұтынушы ағымдағы орны үшін картадан дерек алу мақсатында, карталар серверіне сұраныс жібере алатын еді. Талқыланған жоғарыдағы қызметтер түрлері *1.14-суреттегі* кестеде келтірілген.

	Қызмет	Мысал
Байланысқа бағытталған	Сенімді мәліметтер ағыны	Парақтар тізбегі
	Сенімді байттар ағыны	Қашықтықтан тіркеу
	Сенімсіз байланыс	Сандық дыбыстық байланыс
Байланыс орнатусыз	Сенімсіз дейтаграмма	Электронды пошта арқылы жарнама жөнелту
	Растауы бар дейтаграмма	Тапсырыс хаттары
	Сұраныс - жауап	Деректер базасына сұраныс

1.14-сурет. Алты типтік қызметтер

Сенімсіз байланысты қолдану тұжырымдамасы бастапқыда біршама оғаш болып көрінуі мүмкін. Шындығында да, сенімсіз байланысты сенімдіге қарағанда артық көру пайдалы болатын жағдайлар неге туындайды? Біріншіден, сенімді жалғауды (жоғарыда келісілген мағынада, яғни растауы бар) берілген деңгейде барлық кезде орнату бола бермейді. Айталық, Ethernet «сенімді» коммуникация құралы емес. Дестелер тасымал кезінде ақаулануы мүмкін, бірақ бұл мәселені анағұрлым жоғары деңгейдегі хаттамалар шешуі керек. Дербес жағдайда, көптеген сенімді қызметтер сенімсіз дейтаграмм қызметтерінің үстінен құрылған. Екіншіден, растауды жіберумен байланысқан бөгелулер кейбір жағдайларда, әсіресе мультимедианы шынайы уақытта тасымалдағанда тиімді емес. Осы факторлардың арқасында сенімді және сенімсіз байланыстар қатар өмір сүріп келеді.

1.3.4. Примитивтер сервисі

Сервис формалды түрде оны алу үшін тұтынушыға немесе басқа объектіге қол жетімді **примитивтер** немесе операциялар жинағынан тұрады. Бұл примитивтер қызметі кейбір амалдарды орындауға мәжбүр етеді немесе сол деңгейдегі объектінің амалдарына жауап ретінде қызмет етеді. Егер хаттамалар жинағы операциялық жүйенің құрамына кірсе (көбінесе осылай болады), онда примитивтер жүйелік шақырулар болып табылады. Олар ерекше артықшылық режимде жүйелік үзілістердің пайда болуына алып келеді де, нәтижесінде керекті дестелерді жөнелтетін машинаны басқару операциялық жүйеге беріледі.

Қол жеткізу примитивтердің жинағы сервисінің табиғатына байланысты болады. Айталық, жалғауы орнатылған және орнатылмаған сервистердің примитивтері бір-бірінен өзгеше болады. *1.3-кестеде* клиент-сервер типтес ортада биттік ағымның сенімді тасымалын қамтамасыз ететін примитивтердің минималды жинағы келтірілген. Оқырмандарға олар Берклидің сокет-сервисі ретінде таныстырылатын болады, себебі примитивтер – осы интерфейстің ықшамдалған түрі.

1.3-кесте

Қарапайым тасымалдауды қамтамасыз ететін бірігуі орнатылған алты сервисі примитив

Примитив	Мәні
LISTEN (күту)	Кірістегі бірігуді оқшаулау, күту
CONNECT (бірігу)	Бірдей рангілі күтуші объектімен бірігуді орнату
ACCERT (қабылдау)	Бірдей рангілі объектіден кірістегі бірігуді қабылдау
RECEIVE (қабылдау)	Кірістегі мәлімдемені оқшаулау, күту
SEND (тасымалдау)	Бірдейрангілі күтуші объектіге мәлімдеме жіберу
DISCONNECT (үзілу)	Бірігуді үзу

Бұл примитивтер клиент-сервер ортасында сұраныс-жауап өзара әрекеттері үшін қолданыла алады. Оның қалай орындалатынын көрсету үшін жалпы мойындалған дейтаграммаларды пайдалана отырып, қызметті жүзеге асыратын қарапайым хаттаманың нобайын көрсетеміз.

Алдымен сервер кірістегі бірігулерді орнатуға дайын екендігін білдіріп LISTEN примитивін орындайды. Бұл примитив әдетте оқшаулаушы жүйелік шақыру түрінде орындалады. Ол орындалып болғаннан кейін сервер үрдісі жалғау орнатылмағанша тоқтатылады.

Сонан соң клиент үрдісі сервермен жалғауды орнатып, CONNECT примитивін орындайды. Жүйелік шақыруда байланысты кіммен орнату қажет екендігі көрсетілуі қажет. Ол үшін, сервердің адресін білдіретін арнайы параметр енгізіле алады. Әрі қарай клиенттің операциялық жүйесі *1.15-суретте* тілсызық белгісі түрінде (1) көрсетілгендей бірдейрангілі сұранысты дестені жөнелтеді. Клиент

үрдісі жауапты күту мақсатында уақытша тоқтатылады. Десте серверге келіп түскенде, операционды жүйе жалғауға сұранысты табады. Ол тындаушының бар екендігін тексеріп, бар болған жағдайда оны қоршаудан шығарады. Сонан соң сервер үрдісі ACCERT примитивінің көмегімен бірігуді орната алады. Ол бірігуді қабылдау үшін жауапты (2) кері, клиенттің үрдісіне жөнелтеді. Жауаптың келуі клиентті босатады. Осы сәттен бастап клиент пен сервер арасында байланыс орнатылды деп есептеледі.

Мұндай өзараәсерлесудің ең айқын өмірлік мысалы компанияның сервистік орталығына сатып алушының (клиенттің) шалған қоңырауы бола алады. Қоңырауға жауап қайтару мүмкіншілігіне ие болу үшін сервис орталығының менеджері телефонда отыруы керек. Клиент қоңырау шалады. Менеджер телефон тұтқасын көтерген кезде байланыс орнатылды деп есептеледі.

Жүйені бірінші сұранысты қабылдауға дайындайтын келесі қадам сервердің RECEIVE примитивін орындау болып табылады. Қалыпты жағдайда бұл үрдіс, клиент бірігуге растауды алғаннан бұрын, күтуді тоқтатқаннан кейін (LISTEN) бірден орындалады. Жүйелік шақыру RECEIVE серверді қайтадан оқшаулайды.



1.15-сурет. Клиент пен сервердің жалпықабылданған дейтаграммалардың негізіндегі қарапайым қарым-қатынасы

Клиент SEND примитивін орындайды, сұранысты жібереді (3) және бірден RECEIVE примитивін орындап, жауапты күтеді. Сұраныс дестесін қабылдау серверді қоршаудан шығарады, осының салдарынан ол сұранысты өңдей алады. Өңдеу аяқталғаннан кейін сервер SEND примитивін орындайды және жауап клиентке қайтарылады (4). Дестені қабылдау клиентті қоршаудан шығарады, енді дестені өңдеу оның кезегіне тиеді. Егер клиенттің серверге тағы сұраныстары бар болса, ол бұл сұраныстарды жібере алады.

Клиенттің сұраныстары аяқталған кезде ол бірігуді үзуді DISCONNECT көмегімен жүзеге асырады. Әдетте, бірінші DISCONNECT примитивін, серверге сеанстың аяқталғанын хабарлап, десте жібереді де, клиентті оқшаулайды (5). Жауап ретінде сервер, клиент үшін байланысты үзуді растайтын, өзінің DISCONNECT примитивін тудырады. Клиент оны алғаннан соң қоршаудан шығады және бірігу біржола үзілген болып есептеледі. Тура осылай қысқаша бірігуі орнатылған коммуникацияның схемасын сипаттауға болады.

Әрине, өмір соншалықты жеңіл емес. Жоғарыда сипатталған жұмыс алгоритмі тым үстірт, ал кейбіреуі жай ғана дұрыс емес (мысалы, CONNECT іс жүзінде LISTEN-ге дейін орындалады). Сонымен қатар дестелердің жоғалып кететіні болады немесе басқа да мәселелер туындайды. Кейінірек біз мұның барлығын толығырақ қарастыратын боламыз, бірақ қазіргі сәтте *1.15-сурет* бойынша бірігуі орнатылған клиент-сервер жүйесінің жұмысын, жалпықабылданған дейтаграммаларды пайдаланып және жоғалған дестелерді ескермей, ұсынуға болады.

Хаттамалардың жұмысына қажетті осы алты дестені көріп, бірігуі орнатылмаған хаттамалар неге қолданылмайды деп таңғалуға болады. Жауап келесідей: бар болғаны екі десте- біреуі сұраныс, екіншісі жауап үшін қажет болатын шынайы өмірде мүмкін оның мағынасы болар еді. Бірақ үлкен хаттаманы (айталық, мегабайтты файлды), әрі екі жаққа да, әрі тасымалдау кезінегі қателіктерімен, жоғалған дестелермен т.с.с., тасымалдауды елестетсек, жағдай мүлдем өзгереді. Егер сервердің жауабы, бір-екі жұбы жолда жоғалған, бірнеше жүздеген дестелерден тұратын болса, клиент мәліметті толығымен алғандығын қайдан біледі? Соңғы алынған дестенің шындығында да соңғы екендігін қайдан біледі? Айталық клиент екінші файлды сұратсын. Ол екінші файлдағы бір дестені бірінші файлдағы, жоғалып кетіп, кенеттен табылған дестеден қалай айырады? Қысқаша айтқанда, шынайы өмірде растаусыз сұраныс-жауаптың қарапайым хаттамалары көп жағдайда жарамайды.

Үшінші тарауда біз деректерді тасымалдау кезінде орын алатын түрлі мәселелерді шешуге мүмкіндік беретін хаттамаларды талқылаймыз.

1.3.5. Қызметтер және хаттамалар

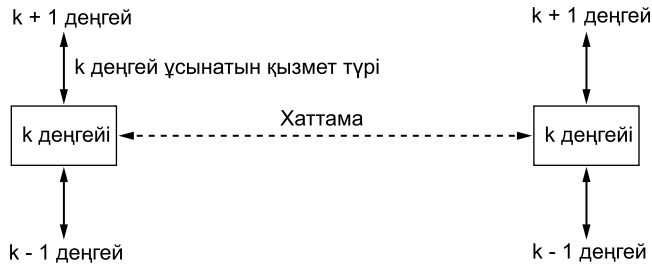
Қызметтер және хаттамалар әртүрлі түсініктер болып саналады. Бұл екі түсініктің арасындағы айырмашылық өте маңызды, сол себепті, біз оған тағы да бір назар аударып кетейік. Қызмет (немесе қызмет көрсету) – бұл төменгі деңгейдің өзінен жоғары деңгейге көрсететін операциялар (примитивтер) жиыны. Қызмет – деңгейдің өз тұтынушыларының атынан қандай операциялар орындайтындығын анықтайды, алайда бұл операциялардың нақты қалай жүзеге асырылатындығы айтылмайды. Қызмет екі деңгей арасындағы интерфейсті сипаттайды, мұнда төменгі деңгей қызмет көрсетуші, ал жоғарғы деңгей – тұтынушы.

Керісінше, хаттама – бұл деңгей ішіндегі бір рангі объектілер алмасатын кадрлар, дестелер немесе мәліметтердің форматы мен қызметін сипаттайтын ережелер жиынтығы. Объектілер өзінің нақты бір қызметін жүзеге асыру үшін хаттаманы қолданады. Олар хаттамаларды өз қалауларына өзгертуі мүмкін, бірақ олардың өз тұтынушыларына көрсететін қызмет түрі өзгеріссіз қалуы керек. Сонымен, қызмет және хаттама іс жүзінде бір-бірінен тәуелсіз. Бұл – кез келген желі жобалаушысының есте сақтайтын негізгі түсінігі.

Осы маңызды сәтті тағы бір қайталайық, қызмет – деңгейлер арасындағы интерфейске байланысты, ал хаттама бір деңгейдің әртүрлі машиналарда орналасқан

объектілерінің арасындағы тасымалданатын дестелермен байланысты. Бұл *1.16-суретте* көрсетілген. Бұл екі түсінікті шатастырмаған жөн.

Мұны программалау тілдерімен салыстырып қарастырған дұрыс. Қызметті абстракты типпен немесе объектіге бағытталған программалау тілдеріндегі объектіге балауға болады. Ол объектімен орындалатын операциялар түрін анықтайды, бірақ бұл операциялардың қалай іске асырылатынын сипаттамайды. Бұл жағдайда хаттама, керісінше, қызметтің іске асырылуы, сондықтан тұтынушыға көрінбейді.



1.16-сурет. Қызмет және хаттама арасындағы байланыс

Көптеген ескі жүйелерде қызмет хаттамадан ажыратылмаған. Нәтижесінде, тұтынушының толық жиналған дестеге сілтемені көрсетуін талап ететін, SEND PACKET қызметінің операцияларынан тұратын қарапайым деңгейді алыңыз. Мұнда, хаттамадағы кез келген өзгеріс, сол сәтте тұтынушыға көрінетін болған. Қазіргі кезде, желі құрастырушылардың көпшілігі мұны үлкен қателік деп санайды.

1.4. ЭТАЛОНДЫҚ МОДЕЛЬДЕР

Көпдеңгейлі желілерді жалпылама талқылағаннан кейін, бірнеше мысалдарды қарастыратын уақыт келді. Біз екі маңызды архитектуралық типтерді сипаттаймыз – OSI және TCP/IP эталондық модельдері. OSI эталондық модельдерімен байланысты хаттамалардың қазіргі кезде қолданылмайтындығына қарамастан, модел әлі де өзекті, ал оның осы тарауда қарастырылатын деңгейлерінің сипаттамалары өте маңызды. TCP/IP эталондық моделінде керісінше, моделдің өзі қазіргі кезде қолданылмайды, ал оның хаттамалары ең көп таралған хаттамалар болып саналады. Осы айтылғандарға байланысты екі модельді де талқылаймыз. Көп жағдайда жеңістерден гөрі жеңілістерден көп нәрсені үйренуге болады.

1.4.1. OSI эталондық моделі

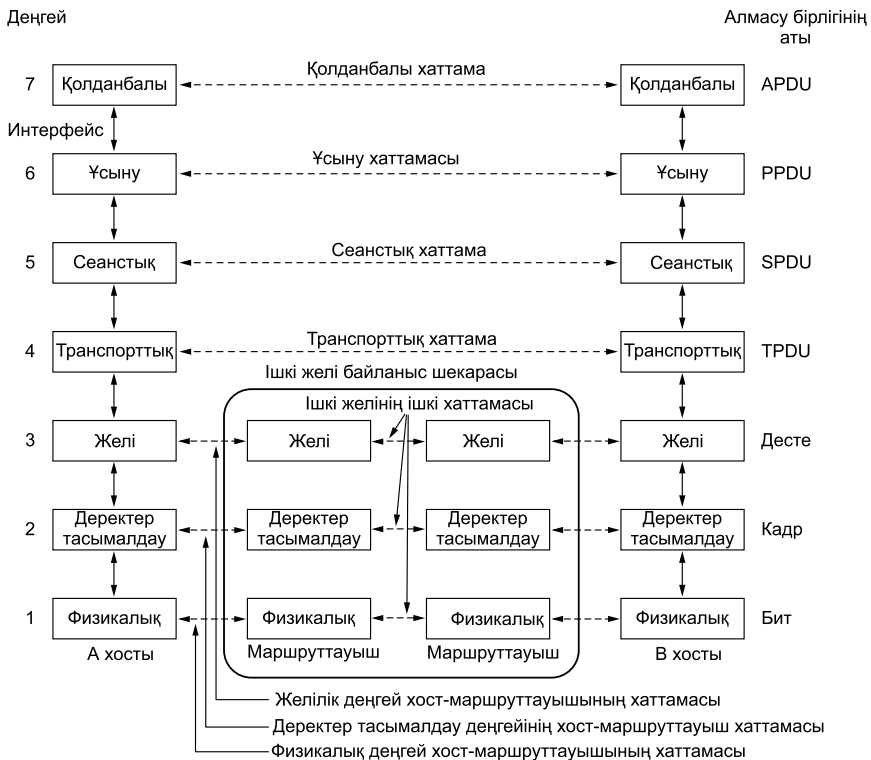
OSI эталондық моделі (физикалық ортадан басқасы) *1.17-суретте* көрсетілген. Бұл модел Халықаралық стандарттау ұйымының (International Organization

for Standardization, ISO) талаптарына негізделген және әртүрлі деңгейлерді қолданылатын хаттамаларды халықаралық стандарттаудың алғашқы қадамы болп саналады (Day и Zimmerman, 1983). Кейін, 1995 жылы ол қайта қарастырылды (Day, 1995). Бұл құрылым, ашық жүйелерді, демек, өзара байланысу үшін ашық жүйелерді байланыстыратын болғандықтан, ISO ашық жүйелер әрекеттесуінің эталондық моделі ISO **OSI (Open System Interconnection) Reference Model** деп аталады. Бұл модельді қысқаша «**OSI моделі**» деп атайтын боламыз.

OSI моделі жеті деңгейден тұрады. Дәл осындай құрылымның пайда болуы келесідей мәселелерге байланысты:

Деңгей жеке абстракты сатының қажеттілігіне байланысты құрастырылуы керек;

1. Әр деңгей нақты бір ғана функцияны атқаруы керек;
2. Әр деңгейдің функциясы, стандартталған халықаралық хаттама жасалуымен бірге жүргізілуі тиіс;
3. Деңгейлер аралық шекара, интерфейстер арасындағы мәліметтер ағыны неғұрлым аз болатындай етіп таңдалуы керек;
4. Әртүрлі функциялар қажеттіліксіз бір деңгейде бірікпес үшін, деңгейлер саны неғұрлым көп болуы тиіс, алайда, архитектура тым үлкен болмау керек.



1.17-сурет. OSI эталондық моделі

Төменде біз модельдің әр деңгейін, ең төменгісінен бастап талқылаймыз. OSI моделінің желілік архитектура емес екендігіне назар аударыңыз, себебі, ол әр деңгейде қолданылатын қызметтер мен хаттамаларды сипаттамайды. Ол тек әр деңгейдің қандай қызмет атқаратынын анықтайды. Дегенмен, ISO әр деңгей үшін стандарттар құрастырды, алайда, бұл стандарттар эталондық моделдің өзіне кірмейді. Олардың әрқайсысы жеке халықаралық стандарт ретінде жарияланды. Өзімен байланысты хаттамалардың ұзақ уақыт бойы ұмыт болғанына қарамастан, бұл модель ішінара қолданылады.

Физикалық деңгей

Физикалық деңгей өңделмеген биттерді байланыс арналары арқылы нақты тасымалдайды. Желіні құрастыру барысында, мәлімет жіберуші бір бірлікті жібергенде, қабылдаушы нөл емес, бірді алатындығына көз жеткізу керек. Мұнда қаралатын негізгі сұрақтар: бірлікті бейнелеу үшін қандай кернеу қажет; нөлді бейнелеу үшін қандай кернеу керек; биттің ұзақтығы неше микросекунд; тасымалдауды бір мезгілде екі бағытта жүргізуге бола ма; бастапқы байланыс қалай орнатылады және екі жақта мәлімет тасымалдауды аяқтаған кезде, байланыс қалай аяқталады; кабельдегі сымдар саны неше болу керек және әр сымның қызметі қандай. Құрастыру сұрақтары көбіне, механикалық, электрлік және процедуралық интерфейсдермен, сонымен бірге, физикалық деңгейдегі физикалық тасымалдауыштармен байланысты.

Деректер тасымалдау деңгейі

Деректер тасымалдау деңгейінің негізгі мақсаты – физикалық деңгейдің анықталмаған қателіктері жоқ және нақты қателіктері желілік деңгей көрмейтіндей етіп маскіленген, «шикі» деректерді, сенімді байланыс тораптары арқылы тасымалдау. Бұл есеп кірістегі мәндерді кадрларға бөлу арқылы жүзеге асырылады. Кадрлар мөлшері бірнеше жүздеген биттен бірнеше мыңдаған битке дейін барады. Деректер кадры тізбекпен жіберіледі, қабылдауыш – кадрлар қуаттауды өңдеп, кері жібереді.

Деректерді тасымалдау деңгейінде (сонымен бірге жоғары деңгейлердің көбінде жиі) туындайтын тағы бір мәселе – жоғары жылдамдықпен жұмыс жасайтын жөнелтуші, қабылдауышты деректермен толтырып тастайтын жағдайды болдырмау. Мүмкін, ағымдағы сәтте қабылдауыш буферінде бос орын бар екенін хабарлайтын, реттеуіш механизм қарастыру керек шығар.

Кеңтаратушыжелілерде, деректер тасымалдау деңгейінің тағы бір мәселесі: бірлесе қолданылатын арнаға қол жеткізуді қалай басқаруға болады. Бұл мәселені, деректер тасымалдау деңгейіне – тасымалдауышқа қол жеткізу ішкі деңгейін енгізу арқылы шешіледі.

Желілік деңгей

Желілік деңгей ішкі желінің операцияларын басқарумен айналысады. Бұл жердегі негізгі мәселе – деректер көзінен дестелерді қабылдаушы пунктке тасымалдау маршрутын анықтау. Маршруттар кесте түрінде қатты бекітіліп беріледі және сирек өзгертіледі немесе жиі кездесетін жағдай істен шыққан компоненттерді болдырмас үшін, автоматты түрде өзгереді. Сонымен қатар, олар әр байланыс басында берілуі мүмкін, мысалы, қашықтықтағы машинаға қосылу сияқты терминалдык сессияда. Соңында олар жоғары дәрежеде динамикалық, демек, әр пакет үшін желінің ағымдағы жүктелуін ескере отырып есептелуі де мүмкін.

Егер бір мезетте, ішкі желідегі дестелер саны тым көп болса, жіңішке жерлерде кептеліп, бір-бірінің жолын жауып қалуы мүмкін. Мұндай кептелістерді болдырмау – жүктеуді ікемдейтін жоғары деңгейлермен байланысудағы желілік деңгейдің мәселесі. Жалпы алғанда, желілік деңгей белгілі бір дәрежедегі (кідірістер, тасымалдау уақыты, синхронизациялау мәселелері) қызмет көрсетумен айналысады.

Дестелер бір желіден бір желіге жеткенше көптеген қиындықтар туындауы мүмкін. Мәселен, бір желіде қолданылатын адресстеу тәсілі келесі желіден қабылданған адресстеуден ерекше болуы мүмкін. Желі, дестелердің көлемі тым үлкен болса, мүлдем қабылдамауы да мүмкін. Сонымен бірге хаттамалардағы айырмашылықтар және т.б. Нақты желілік деңгей осы мәселелердің барлығын шешіп, әртүрлі желілерге байланысуға мүмкіндік жасауы керек.

Кеңтаратылымды желілерде маршруттау мәселесі өте қарапайым, сондықтан оларда желілік деңгей де қарапайым немесе мүлдем жоқ.

Транспорттық деңгей

Транспорттық деңгейдің негізгі қызметі – сеанстық деңгейден деректерді қабылдау, қажет болған жағдайда оларды кішігірім бөліктерге бөлу, желілік деңгейге жөнелтіп, олардың қабылдаушыға дұрыс түрде жететіндігіне кепілдік беру. Сонымен бірге, мұның барлығын тиімді түрде жасап, уақыт өте аппараттық технологиялардың қандай да бір өзгерісінен жоғары деңгейлерді шектету.

Транспорттық деңгей, сеанстық деңгейге, нәтижесінде, желі тұтынушыларына көрсететін қызмет түрін анықтайды. Транспорттық байланысудың кең таралған түрі – қателіктерден қорғалған, деректер немесе байттарды берілген ретімен жеткізетін, екі буын арасындағы арна. Алайда, транспорттық деңгей басқа да қызмет түрлерін мысалы, жеткізу ретін сақтауға кепілдіксіз жеке мәліметтерді тасымалдауды немесе кеңтарату принципі бойынша бірнеше адресстерге мәлімет жөнелтуді көрсетуі мүмкін. Қызмет көрсету түрі байланыс орнатылған кезде анықталады (Қателіктен толық қорғалған желі жасау мүмкін емес. Тек қателіктер өте сирек болатын, іс жүзінде оған мән берілмейтін арна жайлы ғана айтуға болады).

Транспорттық деңгей нағыз толассыз деңгей, яғни ақпаратты мәлімет көзінен адресатқа тасымалдайтын деңгей болып саналады. Басқа сөзбен айтқанда, мәлімет

жөнелтуші машинадағы программа, басқа машинадағы өзі тәрізді программамен мәліметтер тақырыбы және басқарушы мәліметтер арқылы байланысады. Төменгі деңгейлерде мұндай байланысты орнату үшін, мәліметтер маршруты өтетін барлық көршілес машиналар арасында байланыс орнатылады. 1-ден 3-ге дейінгі, шынжыр буыны принципі бойынша жұмыс жасайтын буындардан, толассызболып саналатын 4-тен 7-ге дейінгі буындар арасындағы айырмашылықтар 1.17-суретте бейнеленген.

Сеанстық деңгей

Сеанстық деңгей әртүрлі компьютерлер тұтынушылары арасында бір бірімен **байланыс сеансын** орнатуға мүмкіндік береді. Сонымен бірге, әртүрлі қызмет түрлерін, соның ішінде **сұхбаттасуды басқаруды** (деректерді тасымалдау кезегін қадағалау), **маркерлерді басқару** (бірнеше жүйелердің бірмезгілде бірнеше операцияларды орындауын болдырмау) және **синхронизациялауды** (қателіктерді жойғаннан кейін тасымалдауды үзілген жерден бастап жалғастыру үшін, ұзын мәліметтер арасына қызметтік белгілер қою) ұсынылады.

Ұсынылу деңгейі

Байттар мен биттерді нақты тасымалдаумен айналысатын төменгі деңгейлерден ерекшелігі, **ұсынылу деңгейі** көбіне, тасымалданатын ақпараттың синтаксисі және семантикасымен айналысады. Компьютерлер әртүрлі мәліметтермен алмасу үшін, форматтарды бірінен-біріне түрлендіріп, желі бойынша белгілі бір стандартпен тасымалдау қажет. Ұсынылу деңгейі осы түрлендірулермен, яғни, мәндердің құрылымын анықтаумен және неғұрлым жоғары деңгейлерге өзгертумен (мысалы, мәліметтер базасының жазбасы) айналысады.

Қолданбалы деңгей

Қолданбалы деңгей тұтынушыға қажет танымал хаттамалар жиынтығынан тұрады. Олардың ішінде кең таралғаны Жаһандық Өрмек негізін құрайтын **НТТР (HyperText Transfer Protocol)** гипермәтіндерді тасымалдау хаттамасы. Броузер веб-параққа сұраныс бергенде, ол парақтың атын (адрес) береді және сервер НТТР-ді қолданады деп есептейді. Жауап ретінде сервер парақты жібереді. Басқа қолданбалы хаттамалар файлдар, электронды пошта, желілік жіберулерді тасымалдау үшін қолданылады.

1.4.2. TCP/IP этолондық моделі

Енді, қазіргі желілердің және жаһандық Интернет желісінің атасы болып саналатын, ARPANET компьютерлік желісінде қолданылатын этолондық моделді

қарастырамыз. ARPANET желісінің қысқаша тарихына біз кейінірек тоқталамыз. Алайда, кейбір елеулі сәттерді қазір айтып кету керек. ARPANET - АҚШ Қорғаныс министрлігі қаржыландырған, зерттеу желісі болған. Желі бөлінген телефон сымдары арқылы жүздеген университеттер мен үкімет ғимараттарын байланыстырды. Спутниктік және радио желілер пайда болған кезде, қолданыстағы хаттамалар негізінде оларды басқа желілермен байланыстыруда көптеген мәселелер туындады. Жаңа эволюциялық архитектура қажет болды. Сонымен, о бастан әртүрлі желілерді, тұтас бір желіге біріктіру ең басты мәселе болды. Кейіннен бұл архитектура өзінің екі негізгі хаттамаларына сәйкес, **TCP/IP** эталондық моделі деген атқа ие болды. Оның бірінші сипаттамасы Cerf және Kahnның (1974) кітабында кездеседі, кейінірек стандартқа айналды (Braden, 1989). Модельдің құрылымдық ерекшеліктері Clark, 1988 басылымында талқыланған.

Қорғаныс министрлігі, бағалы хостар, маршрутизаторлар және желіаралық шлюздердің әпсәтте жойылып кетуінен қауіптенсе, келесі маңызды мәселе, ішкі желі құрылғылары істен шыққанда, байланыс үзілмейтіндей, жалпы желінің жұмыс қабілеттілігін сақтау болды. Басқа сөзбен айтқанда, Қорғаныс министрлігі, қабылдаушы және жөнелтуші машина жұмыс істеп тұрғанда, кейбір аралық машиналар немесе байланыс сымдары кенет істен шықса да, байланыстың үзілмеуін талап етті. Бұдан басқа, әртүрлі қосымшаларды қолдану, файлды тасымалдаудан, сөздерді нақты уақыт режимінде жөнелтуге дейін көзделгендіктен, архитектурадан белгілі бір өзгешелік күтілді.

Арнадық деңгей

Айтылған талаптардың барлығы әртүрлі желілерде жұмыс жасайтын, байланысты орнатпай дестелерді коммутациялау сатысына негізделген желіні таңдауға әкелді. Модельдегі ең төменгі деңгей, арна деңгейі. Бұл деңгейде тізбектік тораптар және классикалық Ethernet байланыс орнатпай, осы желіаралық деңгейдің қажеттілігін қалай қанағаттандыру керек екендігі сипатталған. Іс жүзінде бұл мүлдем деңгей емес, тасымалдау арналары мен түйіндер арасындағы интерфейс. Бұрынғы TCP/IP моделі туралы материалдарда бұл жайлы аз айтылған.

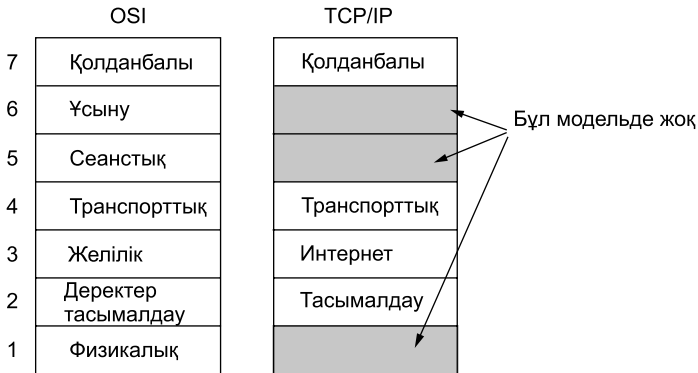
Желіаралық деңгей

Қойылған талаптар, байланыссыз желіаралық деңгей негізінде құрастырылған дестелерді коммутациялау желі моделін таңдауға әкелді. Ол *1.18-суретте* көрсетілген және жалпы OSI-дің желілік деңгейіне сәйкес келеді. Бұл **Интернет-деңгей** немесе **желіаралық деңгей** деп аталатын деңгей бүкіл архитектураның негізі болып саналады. Оның негізгі мақсаты – әр хосттың кез келген желіге дестелер тасымалдауын қамтамасыз ету және қажет пунктке (мысалы, басқа желіге) тәуелсіз қозғалу. Дестелер жіберілген реттен мүлдем өзгеше ретпен келуі де мүмкін. Егер жіберілген ретті сақтау қажет болса, онда бұл тапсырманы жоғары деңгейлер орындайды. Бұл деңгейдің Интернет желісінде қолданылатындығына қарамастан,

«интернет» сөзінің өзінің бастапқы мағынасында пайдаланып отырғандығына назар аударыңыздар.

Мұнда пошта жүйесімен сәйкестікті байқауға болады. Адам бірнеше халықаралық хаттарды бір елде, бір пошта жәшігіне тастауы және егер сәті түссе, хаттардың көбі басқа елдегі дұрыс адрестер бойынша жеткізілуі мүмкін. Хаттардың жол бойы бірнеше халықаралық шлюздер арқылы өтуі ықтимал, алайда, бұл корреспонденттер үшін құпия жағдай. Әр елдің (әр желіде) пошта қызметкерлеріне белгісіз, өз маркасы, конверттер мөлшері және тасымалдау ережесі болуы мүмкін.

Желі аралық деңгей дестенің ресми форматын және **IP** хаттамасын (**Internet Protocol**), қосымша **ICMP** хаттамасымен (**Internet Control Message Protocol** – желіаралық мәлімдемелерді басқару хаттамасы) бірге анықтайды. Желіаралық хаттаманың міндеті – IP-дестелерді қажет орнына жеткізу. Мұндағы негізгі мәселе – пакеттің маршрутын таңдау және транспорттық артерияда кептелістерді болдырмау (іс жүзінде кептелістерді болдырмау мәселесінде IP тиімсіз болып шықты).

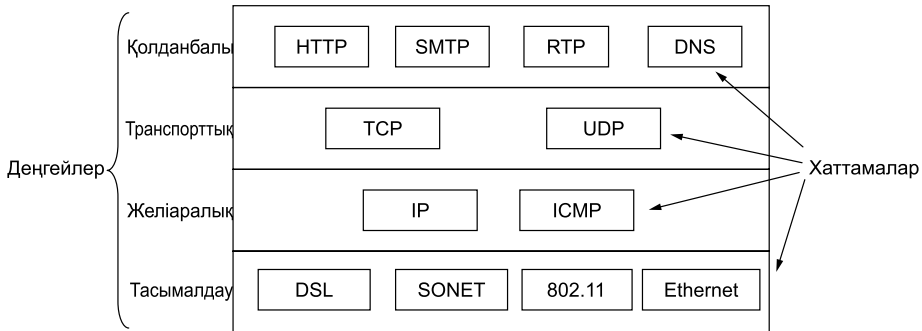


1.18-сурет. TCP/IP этолондық моделі

Транспорттық деңгей

TCP/IP моделінде желіаралық деңгейден жоғары орналасқан деңгейді әдетте, **транспорттық** деп атайды. Бұл деңгей, OSI моделіндегі транспорттық деңгейге ұқсас, бір рангтегі объектілер қабылдаушы және жөнелтуші хосттар арқылы байланыса алу үшін жасалған. Алғашқы **TCP (Transmission Control Protocol** – тасымалдауды басқару хаттамасы) желі арқылы біріккен бір машинадан екінші машинаға байттар ағының қателіксіз жеткізуге мүмкіндік беретін байланыс орнатудың сенімді хаттамасы болып саналады. Ол кірістегі байттар ағынын жеке мәлімдемелерге бөліп, оларды желіаралық деңгейге береді. Белгіленген пунктке келген кезде қабылдаушы TCP-процесс қабылданған мәлімдемелерден шығыс ағынын жинақтайды. Бұдан басқа, TCP, жоғары жылдамдықпен жұмыс жасайтын жөнелтуші баяу жұмыс жасайтын қабылдаушыны ақпаратпен басып тастамас үшін, ағындарды басқарады.

Бұл деңгейдің екінші хаттамасы, **UDP (User Datagram Protocol – тұтынушы дейтаграммалары хаттамасы)** TCP хаттамасының ағынды тізбекпен басқаруын қолданбайтын, оның орнына өз хаттамасын ұсынатын, байланыс орнатылмаса сенімсіз хаттама болып саналады. Ол ұқыптылықтан жылдамдық маңызды деп саналатын, бір реттік клиент-серверлік сұраныстарында және қосымшаларда кең қолданылады. IP, TCP және UDP хаттамаларының қарым-қатынасы *1.19-суретте* көрсетілген. IP хаттамасы жасалған уақыттан бері бұл хаттама көптеген желілерде жүзеге асырылды.



1.19-сурет. TCP/IP моделінің хаттамалары және желілері

Қолданбалы деңгей

TCP/IP моделінде сеанстық және ұсынылу деңгейлері жоқ. Бұл деңгейлердің қажеттілігі болған жоқ, сол себепті олар модельге енгізілмеген. Бұл деңгейлердің орнына қосымшалар өздеріне қажет сеанстардың және ұсынудың барлық функциясын іске қосады. OSI моделімен жұмыс тәжірибесі, бұл көзқарастың дұрыс екендігін дәлелдеді: көптеген қосымшалар бұл деңгейлерді аз қажет етеді.

Транспорттық деңгейдің үстінде **қолданбалы деңгей** орналасқан. Онда жоғарғы деңгейдің барлық хаттамалары толығымен бар. Ескі хаттамаларға виртуалды терминал хаттамасы (TELNET), файлдарды тасымалдау хаттамасы (FTP) және электронды пошта хаттамасы (SMTP) жатады. Біз қарастыратын кейбір маңызды хаттамалар *1.19-суретте* көрсетілген. Бұл, хосттар атын желілік атқа түрлендіретін DNS (Domain Name Service – домен аттарының қызметі), World Wide Web-те парақтар жасау үшін қолданылатын HTTP хаттамасы және RTP, дыбыс және фильмдер сияқты мультимедианы нақты уақытта тасымалдайтын хаттама.

1.4.3. Кітапта қолданылатын модел

Ертеректе айтқандай, OSI этолондық моделінің күші – компьютерлік желілерге

қызмет көрсету үшін өте пайдалы – модельдің өзі (кемшілік – ұсынылу және сеанстар деңгейі). Керісінше, TCP/IP этолондық моделінің күші көп жылдар бойы кеңінен қолданып келе жатқан хаттамалар. Аталған артықшылықтарды үйлестіру үшін, біз кітапта *1.20-суретте* көрсетілген аралас модельді пайдаланамыз.

5	Қолданбалы
4	Транспорттық
3	Желілік
2	Деректер тасымалдау
1	Физикалық

1.20-сурет. Осы кітапта пайдаланатын этолондық модел

Желілік деңгейдің мақсаты біз қашықтықтағы компьютерлер арасында дестелер жібере алу үшін, желідегі көптеген арналарды және желі желілерін, сонымен бірге, біріктірілген желілерді байланыстыру. Бұл дестелерді жіберетін жолды анықтауды да ескереді. IP – осы деңгей үшін, мысал ретінде қарастыратын негізгі хаттама. Транспорттық деңгей, әдетте, желілік деңгейдің жеткізу кепілдігін, еселенген сенімдікпен күшейтеді және түрлі қосымшалардың қажеттілігіне сәйкес келетін, жеткізудің байттар ағымының сенімділігі тәрізді параметрлерін қамтамасыз етеді. TCP – транспорттық деңгей мысалының маңызды хаттамасы.

Соңғы қолданбалы деңгей желі қолданатын программалардан тұрады. Көптеген қосымшаларда, бірақ барлығында емес, веб-браузер сияқты тұтынушы интерфейсі бар. Бізді программаның тек желі қолданатын бөлігі қызықтырады. Бұл – веб-броузер жағдайында, HTTP хаттамасы. Сонымен бірге, қолданбалы деңгейде де, көптеген қосымшалар пайдаланатын DNS тәрізді маңызды программалар бар.

Кітап тарауларының реті осы моделге негізделген. Сонымен, біз желілік архитектураны түсіну үшін, OSI моделінің маңызын сақтаймыз, бірақ алдымен тәжірибеде қажет хаттамаға, соның ішінде TCP/IP және онымен байланысқан хаттамалар, 802.11. SONET және Bluetooth тәрізді жаңа хаттамаларға тоқталамыз.

1.4.4 OSI және TCP этолондық модельдерін салыстыру

OSI және TCP модельдерінің көптеген ортақ сипаттары бар. Екі модельде тәуелсіз хаттамалар стегі концепциясына негізделген. Деңгейлер қызметі де көп жағынан ұқсас келеді. Мысалы, екі моделде де деңгейлер транспорттық деңгейден бастап және жоғары, ақпарат алмасатын процессестер үшін желіге тәуелсіз, толассыз транспорттық қызмет түрін көрсетеді. Бұл деңгейлер транспорт берушіні құрастырды. Сонымен бірге, екі моделде де жоғарғы деңгейлер, транспорттық қызметтің қолданбалы тұтынушысы болып келеді.

Аталған іргелі ұқсастықтарға қарамастан, бұл моделдердің айырмашылықтары да бар. Бұл тарауда біз негізгі айырмашылықтарды қарастырамыз. Біздің, моделдерге сәйкес **хаттамалар стегін** емес, нақты **этолондық моделдерді** салыстырып отырғандығымызға назар аударыңыздар. Хаттамалардың өздері кейінірек талқыланады. Кітап (Piscitello және Chapin, 1993) толығымен TCP/IP және OSI моделдерін салыстыруға арналған.

OSI моделі үшін келесі үш концепция:

1. Қызметтер;
2. Интерфейстер;
3. Хаттамалар орталық концепция болып саналады.

OSI моделінің негізгі үлесі осы үш концепцияның жекеленуі де ықтимал. Әр деңгей жоғарғы деңгейге қандай да бір қызмет түрін көрсетеді. Қызмет түрі деңгейдің нақты қандай жұмыс атқаратындығы, бірақ іс жүзінде қалай атқаратындығы және жоғарғы деңгейлердің оған қалай қол жеткізетіндігі емес.

Интерфейс жоғары орналасқан процестердің деңгейге қол жеткізу әдісін анықтайды. Олар параметр және күтілетін нәтижені сипаттайды. Ол да деңгейдің ішкі құрылымы жайлы еш нәрсе хабарламайды.

Соңында, деңгейде қолданылатын бірраңгілі **хаттамалар** деңгейдің ішкі мәселесі. Қойылған есепті шешу үшін (қызмет көрсету) ол кез келген хаттаманы пайдалана алады. Сонымен бірге, деңгей, жоғарғы деңгей қосымшаларының жұмысына тиіспей, хаттамаларды өзгерте алады.

Бұл идеялар, қазіргі заманғы объектіге бағытталған программалау идеяларына жақсы сәйкес келеді. Деңгейді, тәсілдер жиынтығы бар, сыртқы процесс қатынаса алатын объекті ретінде қарастыруға болады. Тәсілдердің параметрлері мен нәтижесі объект интерфейсін құрастырады. Объектің ішкі құрылымын деңгей хаттамасымен салыстыруға болады. Объект шеңберінен тыс ол ешкімді қызықтырмайды және ешкімге көрінбейді.

Бастапқыда TCP/IP моделінде қызметтер, интерфейс және хаттамалар арасында айқын айырмашылық болған жоқ. Жағдайды өзгертіп, оны OSI моделіне ұқсас етуге талпыныстар жасалды. Мысалы, желіаралық деңгейдің көрсететін жалғыз қызмет түрлері – SEND IP PACKET (IP-дестені жөнелту) және RECEIVE IP PACKET (IP-дестені қабылдау) болып саналады.

Нәтижесінде OSI моделінде хаттамалар TCP/IP моделіне қарағанда, жақсы жасырылған. Технологиялар өзгергенде олар салыстырмалы түрде жеңіл алмастырылады. Мұндай алмастыруларды басқа деңгейлерге қатыссыз жүргізу, көп деңгейлі хаттамалардың негізгі мақсаты болып саналады.

Хаттама **жазылмас бұрын**, OSI этолондық моделінің өзі пайда болған. Оқиғалардың мұндай тізбегі, моделдің қандай да бір хаттамалар жиынтығына негізделіп бапталғанын, кейіннен оның әмбебап болғандығын көрсетеді. Іс әрекеттің мұндай ретінің кері жағы – құрастырушылардың тәжірибелерінің аздығы және әр деңгейдің қандай функцияны атқару керек екендігі жайлы анық ұсыныстардың болмауы.

Мысалы, деректерді тасымалдау деңгейі бастапқыда тек бір буыннан екінші буынға деректер тасымалдайтын желілерде жұмыс жасаған. Кеңжолақтық желілердің пайда болуымен, модельге жаңа ішкі деңгей енгізу қажет болды. Кейіннен, OSI моделінің негізінде, қолданыстағы хаттамаларды пайдаланып, нақты желілер құрастыра бастаған кезде, олар қызметтердің қажет спецификасына сәйкес емес екендігі анықталды. Сондықтан сәйкессіздіктерді жою үшін модельге ішкі деңгейлер қосу қажет болды. О баста, әр елде OSI хаттамаларын пайдаланатын және үкімет басқаратын бір желі болады деп есептелді, сол себептен, әртүрлі желілерді бір желіге біріктіру жайлы ешкім ойланған да жоқ. Іс жүзіне де барлығы ойдағыдай болмады.

TCP/IP моделімен бәрі керісінше болды, алдымен, хаттамалар пайда болып, соңынан сәйкес хаттамаларды сипаттайтын модел құрастырылды. Сондықтан модель хаттамаларының сәйкестігі жайлы ешқандай мәселе туындаған жоқ. Олар модельмен жақсы үйлесті. Жалғыз мәселе, модель қандайда бір басқа хаттамалар торына сәйкес келмеді. Нәтижесінде ол, TCP/IP-ден өзге желілерді сипаттау үшін қолданылмады.

Егер екі модельге жақынырақ қарасак, алдымен, олардың деңгейлер санының өзгешелігі назар аударады: OSI моделінде жеті деңгей, ал TCP/IP моделінде – төртеу. Екі модельде де желіаралық, транспорттық және қолданбалы деңгейлер бар, басқалары өзгеше.

Модельдердің тағы бір айырмашылығы, олардың біріктіру негізінде байланыс орнату және біріктірусіз байланыс орнатуды пайдалану мүмкіндіктерінде жатыр. OSI моделі желілік деңгейде байланыстың екі түрінде қолдайды, ал транспорттық деңгейде – тек біріктіру негізіндегі байланысты қолдайды (себебі транспорттық қызметтер тұтынушыға көрінеді). TCP/IP моделінде желілік деңгейде тек бір ғана байланыс режимі бар (біріктіруді орнатусыз), ал транспорттық деңгейде ол тұтынушыға таңдау беріп, екі режимді де қолдайды. Бұл таңдау сұраныс-жауап қарапайым хаттамалары үшін өте маңызды.

1.4.5. OSI моделі және оның хаттамаларына сындар

Жоғарыда сипатталған моделдерде (OSI және TCP/IP), олардың хаттамалары да мүлтіксіз емес. Екі модель жайлы да көптеген сындар айтылды. Кейбір сындарды біз осы және келесі тарауда қарастырамыз. Алдымен, OSI, одан кейін TCP/IP моделін сараптайық.

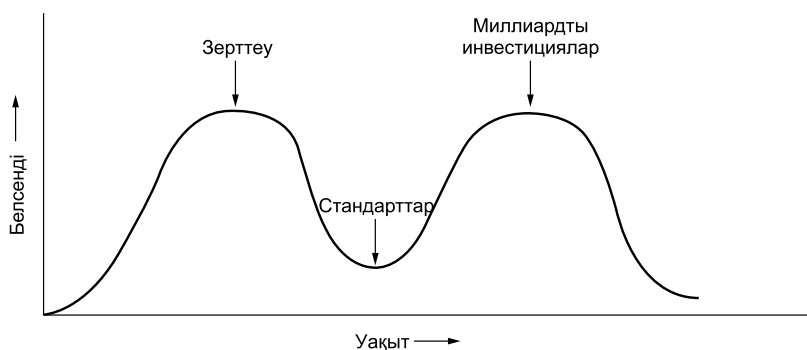
Осы кітаптың екінші басылымы жарық көрген кезде (1989), бұл саладағы көптеген сараптаушылар OSI моделі және оның хаттамалары бүкіл әлемді бағындырып, басқаларын ығыстырып шығарады деп ойлады. Бұл ойлар ақталған жоқ. Не себептен? Мүмкін, тереңірек қарап, осы тарихтың кейбір сабақтарын есепке алған дұрыс шығар. OSI сәтсіздігінің:

- мезгілсіздік;
- сәтсіз технология;

- сәтсіз іске асыру;
- сәтсіз саясат сияқты төрт себебі бар.

Мезгілсіздік

Алдымен, бірінші себепті қарастырайық: мезгілсіздік. Стандарттың жетістігі үшін оның қай кезде пайда болғандығы өте маңызды. М.І.Т.-тегі Дэвид Кларктың (David Clark) екі піл апокалипсисі деп аталатын стандарттар теориясы бар (1.21-сурет).



1.21-сурет. Екі піл апокалипсисі

Бұл суретте кез келген жаңа құрастырылымдармен бірге жүретін белсенділік бар. Жаңа тақырыптың ашылуы бастапқыда, пікірталастар, мақалалар және жиналыстар түріндегі белсенді зерттеулерді тудырады. Біраз уақыттан кейін белсенділік төмендейді, тақырыпты корпорациялар өздері үшін ашады, нәтижесінде оған олар миллиардтаған долларлар инвестициялайды. Стандарттар дәл осы екі «піл» арасында жазылады. Егер олар тым ерте, зерттеулер аяқталмай тұрып жазылса, онда ол зат аз зерттелген және ол үшін нашар жазылған стандарттың нәтижесі қандай болатыны белгісіз. Егер олар тым кеш жазылса, компаниялар стандарттан өзге технологияларға ақша салып қояды да, жазылған стандарттар ескерілмей қалады. Егер екі белсенділік арасындағы интервал тым қысқа болса (бәрі тезірек ақша бергісі келеді), стандарт құрастырушылар оны жасап үлгермейді.

Енді OSI хаттамалар стандартының не себептен сәтсіздікке ұшырағаны түсінікті болды. Олар пайда болған кезде, онымен бәсекелес TCP/IP хаттамалары зерттеу университеттерінің арасында кеңінен таралған болатын. Инвестициялар толқыны бұл ауданға төгілмесе де, университеттер нарығы кең болғандықтан, көптеген құрастырушылар TCP/IP хаттамасын қолданатын өнімдерді ұсына бастады. OSI пайда болған кезде, құрастырушылар хаттамалардың екінші стегін қолдамады, сол себепті бастапқы ұсыныстар болған жоқ. Әр компания алдымен басқа компанияның бастағанын күтті, сондықтан OSI-ді ешкім қолдамады.

Сәтсіз технология

OSI моделінің іске аспауының екінші себебі, модельдің өзінің және хаттамаларының кемшіліктері. Жеті деңгейлі құрылымды таңдау себебі, техникалық емес, көбіне, саяси шешім болды. Нәтижесінде екі деңгей (сеанстық және ұсынылу деңгейі) мүлдем бос, ал басқа екі деңгей (желілік және деректер тасымалдау) тым асыра жүктелген. OSI этолондық моделі, қызметтердің сәйкес сипаттамасы және хаттамаларымен тым күрделі болып шықты. Егер ресми стандарттар басылған қағаздарды біріктірсе, биіктігі бір метр қағаз бумасы шығар еді. Моделді іске асыру тым қиын және жұмысы тиімсіз. Осыған орай Rose, 1993, басылымында дәйек сөзі келтірілген Пол Мокапетристің (Paul Mockapetris) қалжыңы еске түседі.

Сұрақ. Егер гангстер харықаралық стандартпен соқтығысса не болады?

Жауап. Сізге бір адам сөз салады, ал сіз оның сөзін қабылдауға қабілетіңіз жетпейді.

OSI стандартының түсініксіздігінен басқа тағы бір мәселе, адрестеу, ағындарды басқару және қателерді өңдеу сияқты кейбір функциялар, әр деңгейде қайталанып отырды. Мысалы, Saltzer және т.б. (1984) кітаптарда, қателіктерді бақылау тиімді болу үшін, ол ең жоғарғы деңгейде іске асырылуы керек делінген. Сондықтан оны әр деңгейде қайталау көбіне, артық және тиімсіз болып келеді.

Сәтсіз іске асыру

Модельдің және хаттамалардың күрделігін есепке алсақ, оны жүзеге асырудың қиындықтары мен баяулығы күтпеген жағдай болған жоқ. Модельді іске қосқандардың барлығы сәтсіздікке ұшырады. Сол себептен «OSI» ұғымы нашар сапамен ассоциациялана бастады. Кейіннен өнім жақсарғанымен ассоциация қалды. Berkley UNIX-ке негізделген, TCP/IP-ді алғашқы іске қосу керісінше тым жақсы (олардың ашықтығын айтпағанда) болды. Олар тез қолданысқа еніп, көптеген тұтынушылар ұйымдары құрыла бастады. Бұл іске қосудың түзетіліп, жақсаруына әкелді, нәтижесінде тұтынушылар ұйымы көбейе түсті. Бұл жағдайда кері байланыс оң нәтижелі болды.

Сәтсіз саясат

Алғашқы іске қосудың ерекшеліктеріне байланысты, көбіне, университет шеңберіндегілер TCP/IP UNIX жүйесінің бір бөлігі деп санады. Ал, 80 жылдары университет шеңберіндегілер UNIX жүйесіне ата-ананың (ол кезде ер азаматтардың құқығына қатысты инабатсыз көпшілік аналық деген) сезімі мен алма бәлішіне деген сезім арасында еді. Екінші жағынан, OSI еуропалық телекоммуникациялық министрліктердің, еуропалық бірлестіктердің және (кейіннен) АҚШ үкіметінің

баласы саналды. Бұның барлығы тек жартылай шындық еді. Алайда, бір топ үкімет шенеуліктердің техникалық жағынан сәтсіз стандартты траншеяларда компьютерлік желі тартып жатқан зерттеушілер мен программистерге күштеп итермелеуі, бұл модельдің кең таралуына себін тигізбеді. Әлдекімдер бұл дамуды, **IBM** корпорациясының 1960 жылы PL/I болашақтың тілі немесе Қорғаныс министрлігінің бұл мәлімдемені, **Ada** болашақтың тілі деп, өз атынан өзгертіп айтқан көзқараста қабылдады.

1.4.6. TCP/IP этолондық моделіне айтылған сындар

TCP/IP моделінде және оның хаттамаларында да бірнеше кемшіліктер бар. Біріншіден, бұл моделде қызметтердің, интерфейстердің және хаттамалар коцепциясының анық шектеулері жоқ. Программалық жабдықтама құрастырғанда спецификалар мен іске асырулар арасында анық бөліну болу керек. Бұл бөлу OSI моделінде жақсы қадағаланған, ал TCP/IP моделінде жоқ. Нәтижесінде, жаңа технологияларды қолданатын желі құрастырғанда, TCP/IP моделі пайдасыз.

Екіншіден, TCP/IP моделін жалпылама қолдану мүмкін емес, ол TCP/IP хаттамалар стегінен басқасын нашар сипаттайды. Мысалы, Bluetooth технологиясын TCP/IP моделінің көмегімен сипаттау мүлдем мүмкін емес.

Үшіншіден, желілік-хост деңгейі іс жүзінде, деңгейлер хаттамасы контекстінде қолданылатын мағынада, мүлдем деңгей емес. Ол желілік және деректер тасымалдау деңгейлері арасындағы интерфейске әлдеқайда жақын. Интерфейс және деңгей арасындағы айырмашылық өте маңызды. Бұған немқұрайлы қарауға болмайды.

Төртіншіден, TCP/IP моделінде физикалық және деректер тасымалдау деңгейлерінің арасында айырмашылық жоқ. Бұл деңгейлер арасындағы айырмашылықтар жайлы еш жерде айтылмайды да. Ал негізінде олар әртүрлі. Физикалық деңгей, кола кабельмен, оптоалшық және радио арқылы ақпаратты тасымалдау сипаттамаларымен жұмыс істеу керек. Ал деректер тасымалдау деңгейі, тасымалдаудың басы мен соңын анықтап, ақпаратты бір жақтан екінші жаққа қажет сенімділік дәрежесімен тасымалдаумен айналысуы керек. Дұрыс модель оларды екі ерекше деңгей ретінде ұстауы қажет. TCP/IP моделінде бұл жоқ.

Соңында, IP және TCP хаттамалары мұқият құрастырылған және жүзеге асырылған болса да, қалған хаттамаларды, олармен жұмыс жасаған бірнеше студент бұл жұмыс өздерін жалықтырғанын жазған. Хаттамаларды іске асыру еркін таратылды, нәтижесінде олар көпшілік назарына ілігіп, терең тамыр жіберді, енді оларды басқа затпен алмастыру өте қиын. Олардың кейбіреуі қазіргі кезде прогресс жолында үлкен (тиянақты) кедергі болып тұр. Мысалы, секундына 10 символ жылдамдықпен жұмыс жасаған Teletype тәрізді механикалық терминалдар үшін жазылған, TELNET – виртуалды терминал хаттамасы. Ол тышқан қолтетігі және тұтынушының графикалық интерфейсін жайлы бейхабар. Осыған қарамастан, 30 жылдан кейін, ол әлі де қолданыста келеді.

1.5. ЖЕЛІЛЕР МЫСАЛДАРЫ

Компьютерлік желілер алуан түрлі: үлкен және кіші, халықаралық деңгейде танымал және мүлдем бейтаныс. Олардың мақсаттары да, көлемдері де, пайдаланатын технологиялары да әртүрлі. Бұл тарауда біз желі әлемінің қаншалықты алуан түрлі екендігінен хабар беретін бірнеше мысалдар қарастырамыз. Бірінше мысал, ең танымал, желілердің желісі Интернет болады. Сіздер оның қалай пайда болғанын, қалай дамығанын және қандай технологияларды пайдаланғандығын білесіздер. Одан кейін, біз ұялы желілер технологиясын зерделейміз. Техникалық жағынан ол Интернеттен әлде қайда ерекше болып келеді. Келесі талдайтынымыз, сымсыз жергілікті желілер стандарты: IEEE 802.11. Тараудың соңғы мысалы, RFID және сенсорлық желілер, бұл – желіге физикалық әлем және тұрмыс заттарын қосуға мүмкіндік беретін технологиялар.

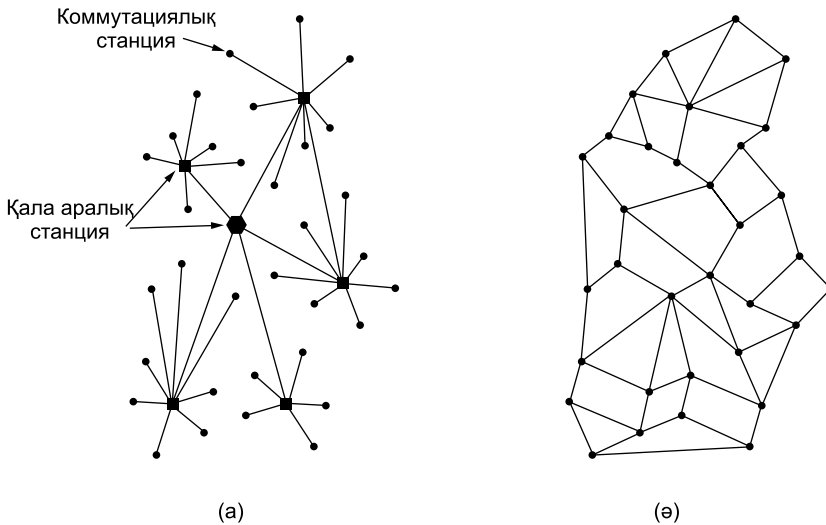
1.5.1. Интернет

Бастапқыда Интернеттің желі емес, білгілі бір жалпылама хаттамалар мен нақты бір қызмет түрлерін көрсететін, түрлі желілердің жинақталған аты екенін тағы да еске сала кету керек. Бұл жүйенің ерекшелігі, оны ешкім арнайы жобалаған және қадағалаған жоқ. Не себептен бұлай болғаны түсінікті болу үшін, біз Интернеттің пайда болу көзінен бастаймыз. Интернет тарихының тамаша оқулығы ретінде 2000 жылы Джон Нотон (John Naughton) жазған кітапты ұсынуға болады. Бұл – өте сирек басылым, себебі ол өте жеңіл оқылады және мұнда, тарихпен айналысатын адамдар үшін өте пайдалы, жиырма парақтан тұраты әдебиеттер тізімі және цитаттар келтірілген. Бұл тарауда келтірілген материалдардың біршама бөлігі сол кітаптан алынған. Әрине, Интернет және оның хаттамалары жайлы сансыз көп техникалық кітаптар жазылған. Қосымша ақпарат алу үшін, мысалы, Maufer (1999) қарауға болады.

ARPANET

Ауқымды желі тарихы ХХ ғасырдың 50-жылдары соңынан басталады. Қырғиқабақ соғыстың нағыз қызып тұрған кезіне де АҚШ Қорғаныс министрлігі ядролық соғыстан да аман қалатын желінің болғанын қалады. Ол кезде барлық әскери телекоммуникациялар қоғамдық телефон желісінің негізінде жұмыс жасады. Желінің бұл кездегі көрінісі графикалық түрде *1.22 а-суретте* бейнеленген. Мұнда қара нүктемен коммутациялық станциялар белгіленген. Олардың әрқайсысы мыңдаған абоненттермен байланысқан. Бұл коммутаторлар өз кезегінде, жоғары деңгейлі – халықаралық желі абоненттері болып келеді. Халықаралық желілер ұлттық желіні құраған. Олардың молшылық қорының дәрежесі тым аз болды. Бір маңызды коммутатордың немесе халықаралық станцияның істен шығуы желіні жекеленген бөліктерге бөледі.

Бұл мәселені шешу үшін 1960 жылдары АҚШ Қорғаныс министрлігі RAND коорпорациясына ұсыныс жасады. Коорпарацияның бір қызметкері Пол Бэрен (Paul Baran) жоғарысенімді таратылған желі (1.22 ә-сурет) жобасын жасады. Ұзындығы үлкен тораптар бойымен, бұзылу деңгейі жарамды аналогтық сигналдарды тарату күрделі болғандықтан, Бэрен сандық сигналдарды тасымалдауды және дестелерді коммутациялау технологиясын ұсынды. Ол Қорғаныс министрлігі үшін, өзінің ұсынған идеясын қалай іске асыру керек екендігі жайлы бірнеше есеп жазды. Пентагонға ұсынылған концепция ұнады және AT&T компаниясына (сол кездегі АҚШ-тың телефондық желі саласындағы монополисі) прототип құрастыру тапсырылды. AT&TBэрен идеясын қабылдамады. Ірі компания, белгісіз жас баланың өзіне, телефон желілерін қалай құрастыру керек екендігі жайлы нұсқау бергенін қаламады. Компания, Бэреннің желісін құрастыру мүмкін емес деп хабарлады, сонымен жоба жабылды.



1.22-сурет. Телефон желісінің құрамы (а);
Бэрен ұсынған таратылған желі архитектурасы (б)

Тағы бірнеше жыл өтті, алайда, АҚШ Қорғаныс министрлігіне қолданыстағы жедел басқару жүйесін алмастыратын ұсыныс жасалмады. Оқиғаның әрі қарай қалай дамығанын түсіну үшін, 1957 жылдың қазан айын еске алайық, дүниежүзінде алғаш рет КСРО-да Жердің жасанды спутнигі ұшырылды, сөйтіп АҚШ-тың негізгі қарсыласы ғарыш саласында артықшылыққа ие болды. Президент Эйзенхауэр мұндай келеңсіздік не себептен орын алғандығы жайлы ойланды. АҚШ армиясының, флот және ӘӘС-ң, өздеріне Пентагоннан ғылыми зерттеулерге бөлінген қаржыны бекер жеп отырғандары әшкере болды. Дерее, Қорғаныс министрлігінің қоластында, ортақ **ARPA (Advanced Research Projects Agency)**, ғылыми зерттеу жұмыстарын тиімді жобалауды басқару) ғылыми ұйымын

құрастыру жайлы шешім қабылданды. ARPA-да не ғалымдар, не зертхана жоқ еді. Оның кішігірім кеңсесі және шағын бюджетінен (Пентагон өлшемдері бойынша) басқа ештеңесі болмады. ARPA университеттер және компаниялар ұсынған жобалардан, ең тиімді дегендерін таңдап алып, ол жобаларға гранттар бөлуді ұйымдастырып, сол ұйымдармен келісімшартқа отырумен айналысты.

Алғашқы жылдары, ARPA директоры Ларри Робертстің (Larry Roberts) назарына компьютерлік желілер іліккенше, ұйым өзінің қызмет саласын анықтады. Ол әртүрлі сарапшылармен байланыс жасап, қандай құрастырылымдар Қорғаныс министрлігінің қызығушылығын тудыратындығын анықтады. Сарапшылардың бірі, Весли Кларк (Wesley Clark), дестелерді коммутациялау негізінде ішкі желі құрастыруды ұсынды. Бұл желіде, әр хосттың жеке маршрутизаторы бар.

Робертс өз сенімсіздігін жеңгеннен кейін, бұл идеяны алып, операциялылық жүйелердің жұмыс принципіне арналған ACM SIGOPS симпозиумында, есеп жазып ұсынды. Симпозиум 1967 жылдың соңында, Гетлингбургте өтті, Теннесси штаты (Roberts, 1967). Симпозиумда Робертс, өзінің идеясына ұқсас, жүйе жайлы баяндама тындап, таңғалды. Баяндамадан, бұл жүйе жобаланып қана қоймай, Дональд Дэвистің (Donald Davis) басшылығымен, Англияның Ұлттық физикалық зертханасында (NPL) жүзеге асырылғандығын естіді. Әрине, NPL құрастырған жүйе бүкіл елді қамтыған жоқ, тіптен, ол ұйым шеңберіндегі бірнеше компьютерді ғана байланыстырды. Алайда, бұл желі дестелік коммутациялауды іс жүзінде үлкен жетістікпен пайдалануға болатындығын дәлелдеді. Робертстің естігені кезінде жабылып қалған Бэрен құрастырылымы еді! ARPA директоры Гетлингбургке, кейіннен **ARPANET** деген атқа ие болған затты Америкада жасау керек деген нық шешіммен оралды.

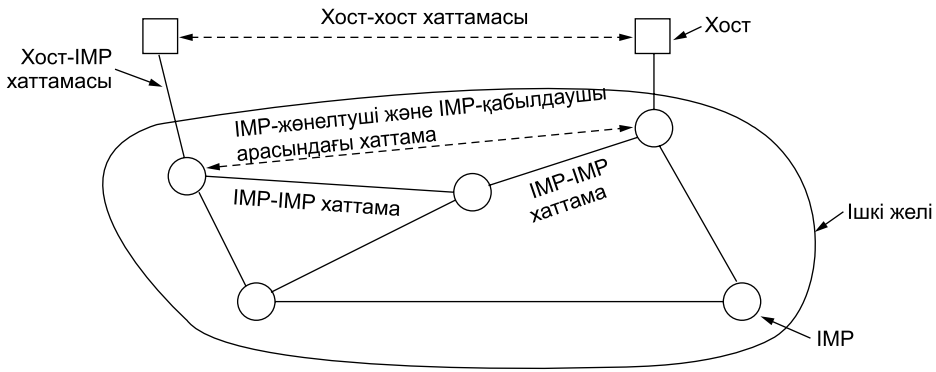
Ішкі желі, байланыс сымдарымен біріккен, ақпаратты 56 Кбит/с жылдамдықпен жөнелтетін, арнайы **IMP** (Interface Message Processor) атты мини-компьютерлерден тұру керек болды. Сенімділікті арттыру үшін әр IMP кем дегенде екі басқа IMP-мен байланысуы қажет. Қандайда бір торап және IMP істен шықса, мәлімдемелер автоматты түрде баламалы жолды таңдау үшін, ішкі желі дейтаграммалық болуы тиіс.

Желінің әр буыны бір бөлме ішінде орналасқан және қысқа сыммен жалғанған IMP және хосттан тұруы керек. Хост өзінің IMP-на ұзындығы 8063 битке дейін хабарлама жібере алады, ал IMP оларды көлемі 1008 бит дестелерге бөліп, бір-біріне тәуелсіз әрі қарай қажет пунктке жөнелтеді. Десте тек толығымен қабылданғаннан кейін ғана әрі қарай жөнелтілу керек болды. Сонымен бұл, алғашқы, аралық сақтауы бар, электронды, дестелерді коммутациялайтын желі еді.

ARPA агенттігі ішкі желіні салуға тендер жариялады. Тендерге он екі компания қатысты. Ұсыныстарды бағалап, ARPA агенттігі Кембридждегі (штат Массачусетс) VBN консалтингтік фирмасын таңдады. 1968 жылдың желтоқсан айында ARPA агенттігі VBN консалтингтік фирмасымен ішкі желіні салуға және желі үшін программалық жабдықтамалар жазуға келісімшартқа қол қойды. VBN, IMP ретінде 12 Кбайт 16-разрядты сөз жедел жадысы бар, арнайы жасалған Honeywell DDP-316 мини-компьютерлерін пайдалануды шешті. Қозғалыстағы бөлшектер

сенімсіз болғандықтан, IMP-ның дисктері болған жоқ. Оларды телефон компанияларынан жалға алынған, өткізгіштік қабілеті 56 Кбит/с тораппен байланыстырды. Қазіргі кезде 56 Кбит/с, ADSL-ге немесе сапалы кабелге қол жеткізе алмайтын жеткіншектердің таңдауы болса, 1968 жылы бұдан басқа жоғары жылдамдықты еш нәрсе болған жоқ.

Программалық жабдықтама: ішкі желі және хост болып екі бөлікке бөлінді. Ішкі желілік программалық жабдықтама, сенімділікті арттыру үшін жасалған, IMP жағынан хост-IMP байланыстыру бөлігінен, IMP-IMP хаттамасынан және IMP-жөнелтуші мен IMP-қабылдағыш хаттамаларынан тұрды. ARPANET желісінің түпнұсқалық құрылымы *1.23-суретте* келтірілген.



1.23-сурет. ARPANET желісінің түпнұсқалық құрылымы

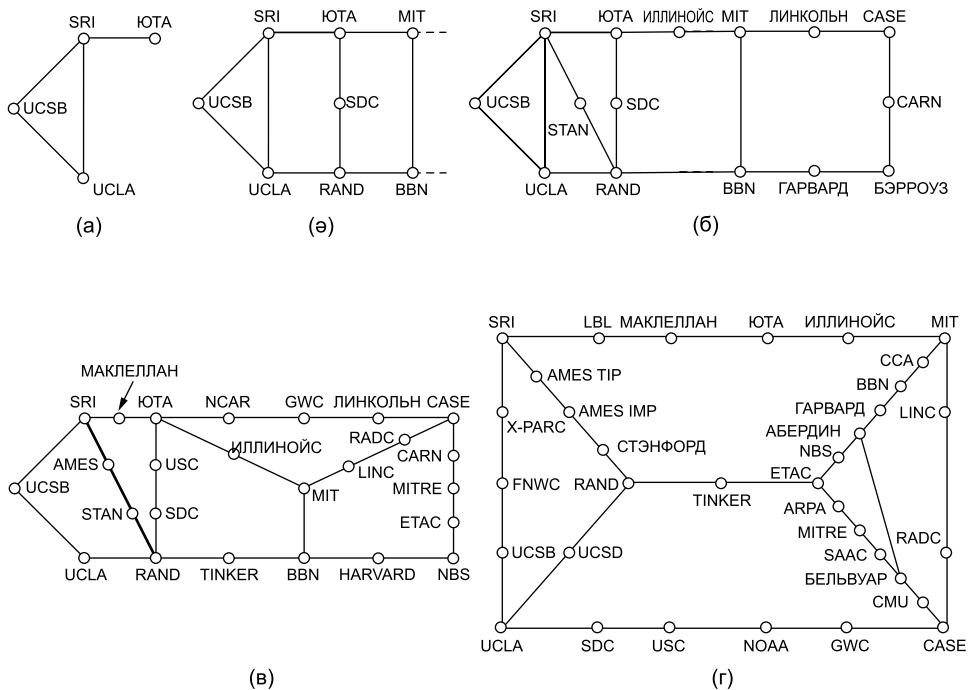
Ішкі желіден тыс тағы бірнеше программалық жабдықтамалар қажет болды. Нақты: хост жағынан хост-IMP байланыстыру, хост-хост хаттамасы және қолданбалы программалар. Кейіннен белгілі болғандай, BBN фирмасы, негізгі мақсат, хост-IMP торабы бойынша мәліметтерді қабылдау және оны IMP-хост торабына жөнелтумен шектелеміз деп ойлады.

Программалық жабдықтамалар мәселесін шешу үшін, 1969 жылы жазылды, Юта штатының Сноуберд (Snowbird) қаласында, Ларри Роберте желі зеттеушілерінің мәжілісін ұйымдастырды. Мәжіліске қатысушылардың басым көпшілігі аспиранттар еді, олар желі саласындағы қандайда бір сарапшы желінің құрылымы және оның программалық бағдарламалары жайлы түсіндіріп, нақты тапсырмалар бөліп береді деп күтті. Мәжіліс барысында олар ешқандай сарапшының да, жобаның да жоқ екендігін және не жасау керектігін өздері шешетіндіктеріне таң қалды.

Дегенмен де, 1969 жылдың желтоқсан айында, Лос-Анджелес (UCLA), Санта-Барбаре (UCSB) қалаларындағы Калифорния университетінде, Стэнфорд зерттеу Институтында (SRI, Stanford Research Institute) және Юта штатының университетінде орналасқан, төрт түйіннен тұратын, тәжірибелік желіні іске

қосуға мүмкіндік туды. Аталған төрт университеті таңдау себебі, олардың ARPA агенттігімен бірлесе жұмыс жасауда үлкен тәжірибелері болды; сонымен бірге бұл төрт университеттің әртүрлі және өзара мүлдем үйлеспейтін хост-компьютерлері бар еді (қызық болғанда). Түйіннен түйінге алғашқы мәлімдеме екі ай бұрын, Лен Клейнрок (пакеттік коммутациялаудың алдыңғысы) командасы бастаған UCLA түйінен SRI түйінге жіберілді. Жаңа IMP-дың жасалып, орнатылуына қарай желі жылдам өсті. Жақын арада ол бүкіл құрама Штаттарды қамтыды. *1.24-суретте* алғашқы үш жылда ARPANET желісінің қаншалықты жылдам өскендігі көрсетілген.

ARPANET желісінің дамуына көмектесуден басқа, ARPA агенттігі спутниктік желілерді және ұялы дестелік радиожелілерді зерттеу саласын қаржыландырды. Танымал көрсетілімдердің бірінде, Калифорнияда жүрген жүк машинасы пакеттік радиожелі арқылы SRI-на мәлімдеме жіберді. Мәлімдеме ARPANET арқылы АҚШ Атлантикалық жағалауына жіберілді және спутниктік желі арқылы Лондондағы University College-де трансляцияланды. Сөйтіп, жүк машинасындағы зерттеуші Лондондағы компьютермен жұмыс жасай алды.



1.24-сурет. ARPANET желісінің дамуы: желтоқсан 1969 (а); шілде 1970 (ә); наурыз 1971 (б); сәуір 1972 (в); қыркүйек 1972 (г)

Көрсетілім кезінде, ARPANET желісінің қолданыстағы хаттамаларының біріккен желілермен жұмыс жасау үшін жарамсыз екендігі анықталды. Нәтижесінде

хаттамалар аумағында қосымша зерттеулер жүргізіліп, TCP/IP (Cerf и Kahn, 1974) моделінің және хаттамаларының құрастырылуымен аяқталды.

Жаңа хаттамалардың қабылдануын қолдап, ARPA TC3/IP хаттамаларын әртүрлі компьютерлік платформаларға, соның ішінде IBM, DEC, HP және Berkeley UNIX-ке кіріктіру үшін бірнеше келісімшартқа отырды. Берклидегі Калифорния университетінің зерттеушілері TCP/IP-ді, UNIX Берклидің келесі 4.2BSD шығарылымы үшін, жаңа программалық интерфейспен қайта жазып, оны сокет деп атады. Сонымен бірге, олар сокетті желіні қолданудың ыңғайлы екендігін көрсету үшін көптеген қосымшалар, утилиттер және басқарушы программалар жазды.

Таңдалған уақыт тамаша болды. Көптеген университеттер дәл осы кезде өзара біріктіру үшін, екінші немесе үшінші VAX компьютерлерін және ЖЕЖ алған еді. Алайда, олардың желілік программалық жабдықтамалары жоқ еді. Құрамында TCP/IP, сокеттер және көптеген желілік утилиттер бар UNIX 4.2 BSD жүйесінің пайда болумен толық десте бірден қабылданды. Сонымен бірге, TCP/IP жергілікті желіні ARPANET-пен жеңіл біріктірді, көпшілігі осылай жасады да.

80 жылдары ARPANET-ке тағы бірнеше желілер бірікті, олардың көбі ЖЕЖ. Ауқымды желінің көлемінің өсуіне қарай, хосттарды іздеу күрделене түсті. Нәтижесінде, компьютерлерді домендерге ұйымдастырып, хосттар атын IP-адресстерге түрлендіретін **DNS (Domain Name System** – домен аттары қызметі) жүйесі жасалды. Содан бері DNS, хосттар және домендер аты сақталатын, жалпылама таратылған мәліметтер базасы жүйесіне айналды. Біз оны 7-тарауда толығырақ қарастырамыз.

NSFNET

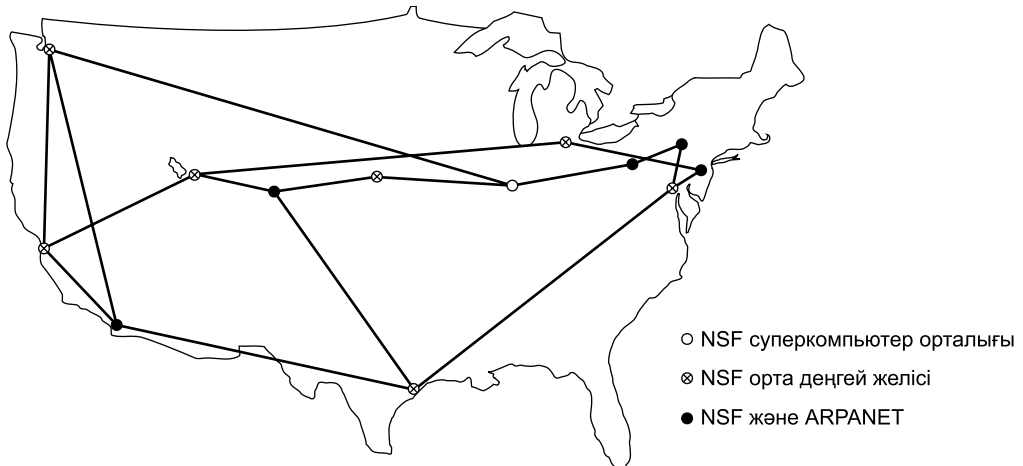
70-жылдардың соңында АҚШ-тың Ұлттық ғылыми қоры (NSF, National Science Foundation), ARPANET елдің бүкіл ғалымдарының ақпарат алмасып, жобалармен бірлесіп жұмыс жасауға мүмкіндік беріп, университеттердің ғылыми жұмыстарына үлкен ықпал жасайды деген шешімге келді. Алайда, ARPANET-ке қол жеткізу үшін университеттер Қорғаныс министрлігімен келісімшарт жасасуы керек болды. Келісімшарт көптеген университеттерде жоқ еді. Бұл жағдайға жауап ретінде NSF 1981 жылы Computer Science Network (**CSNET**) желісін жасады. Желі информатика кафедраларын және индустриалды ғылыми-зерттеу зертханаларын, коммутациялық қол жеткізу және жалға алынған тораптар арқылы ARPANET желісімен байланыстырды. 1980 жылдардың соңында NSF алға жылжып, барлық университеттер және ғылыми топтар үшін ашық, ARPANET желісінің ізбасарын құрастыруға шешім қабылдады.

Жұмысты бастау үшін, Ұлттық ғылыми фонд, Сан-Диего, Боулдер, Шампейн, Питтсбург, Итак және Принстондағы суперкомпьютерлік орталықтарды біріктіретін желілік магистралды салуға шешім қабылдады. Әр суперкомпьютерге **фаззбол (fazzball)** дер аталатын, кішігірім LSI-11 мини-компьютері жалғанды. Бұл мини-компьютерлер 56 Кбит/с бөлінген сымдармен біріктірілі, ішкі желі жасалды.

Ішкі желі ARPANET желісіндегі аппараттық технологиялармен жұмыс жасады, ал программалық технология басқаша болды. Мини-компьютерлер бастапқыдан TCP/IP хаттамаларын пайдаланды, сөйтіп TCP/IP хаттамалары негізіндегі алғашқы дүниежүзілік ауқымды желі құрастырды.

Ұлттық ғылыми қоры, магистральмен байланысқан, тағы да бірнеше (20 шақты) регионалдық жергілікті желілерді құрастыруды қаржыландырды. Бұл жүздеген университеттер, ғылыми зертханалар, кітапхана және музей тұтынушыларының суперкомпьютерлерге қол жеткізуіне мүмкіндік берді. Магистральдан және аймақтық желілерден тұратын бүкіл желі NSFNET деген атқа ие болды. Желі, Карнеги – Меллон (Carnegie – Mellon University) университетінің компьютерлік залындағы, IMP және микрокомпьютерлер арасындағы торап арқылы ARPANET желісімен байланысты. NSFNET желісінің алғашқы магистралі *1.25-суретте* бейнеленген.

NSFNET желісі әпсәтте жеңістіктерге жетті және болашағына көп үміт артылды. Ұлттық ғылыми қоры NSFNET-мен жұмысын аяқтағаннан кейін, келесі желіні жобалауға кірісті. Ол үшін Мичиган штатында орналасқан MERIT консорциумымен келісімшарт жасасты. Желі магистралдың екінші баламасын жасау үшін халықаралық желі операторы MCI-тен (Microwave Communications, Inc. – осы кезге дейін WorldCom біріккен компания) өткізгіштік қабілеті 448 Кбит/с талшықты-оптикалық арнадар жалға алынды. Маршрутизатор ретінде IBM PC-RT (RT-PC- RISC Technology Personal Computer – қысқартылған командалар жиынтығы процессорлары негізіндегі дербес компьютерлер) пайдаланылды. Жақын арада бұл да жеткіліксіз болды, екінші магистрал 1,5 Мбит/с-ке дейін жылдамдатылды.



1.25-сурет. 1988 жылғы NSFNET желісінің магистралі

Саланың дамуы жалғасты, алайда, үкімет желінің дамуын үнемі қаржыландыра алмайтындығын Ұлттық ғылыми қор түсінді. Сонымен бірген коммерциялық ұйымдар ортақ іске қатысуға тілек білдірді. Бірақ қор жарғысы бойынша Ұлттық

ғылыми қор қаржыландырған желіні коммерциялық ұйымдар қолданыуына тыйым салынды. Кейіннен Ұлттық ғылыми қоры, MERIT, MCI және IBM компанияларының коммерциялық емес **ANS(Advanced Networks and Services)** корпорациясын құрастыруын қолдады. Бұл коммерцияландыру жолындағы алғашқы қадам болды. 1990 жылы ANS NSFNET желісін толық иеленді. Тораптарды 1,5 Мбит/с-тан 45 Мбит/с-ке дейін жетілдіріп, **ANSNET** құрастырды. Желі бес жыл жұмыс жасап, кейіннен America Online компаниясына сатылып кетті. Бірақ бұл уақытқа дейін IP-коммуникациясы саласында өз қызметтерін ұсынған көптеген коммерциялық ұйымдар пайда болды. Мемлекет, бұл саладағы бәсекелестікке жеңіске жете алмайтынын және бұл бизнестен кету керектігін түсінді.

Бір желіден екінші желіге өтуді жеңілдету және барлық регионалдық желілердің бір-бірімен байланыса алатындығына кепілдік беру үшін, Ұлттық ғылыми қор әртүрлі төрт желілік операторлармен, желіге қол жеткізу пункттерін **NAP(Network Access Point)** ұйымдастыру жайлы келісімшартқа отырды. Бұл операторлар PacBell (Сан-Франциско), Ameritech (Чикаго), MFS (Вашингтон) және Sprint (Нью-Йорк, NAP-қа ыңғайлы болу үшін онымен Пеннсаукен және Нью-Джерси біріктірілді) компаниялары еді. NSF регионалдық желілерін біріктіру қызметтерін ұсынғысы келген әр желілік оператор, NAP-тың әр пунктіне қосылуға міндетті болды.

Сонымен, бір желіден екінші желіге тасымалданатын десте, NAP-тың бір пунктінен екінші пунктіне қай арна бойынша қозғалуын таңдай алатын болды. Сол себепті, бастапқыда ойлағандай, операторлар баға және көрсететін қызмет түрлері бойынша бір-бірімен бәсекелестікке түсті. Біртұтас магистраль концепциясы, коммерциялық түрде басқарылатын бәсекелес инфрақұрылыммен алмастырылды. Көшілік АҚШ-тың мемлекеттік құрылымы консервативтілігіне сын айтқанды жақсы көреді. Дегенмен де, Интернеттің дамуына барлық жағдай жасаған – Қорғаныс министрлігі және Ұлттық ғылыми қор. Кейіннен олар өздерінің барлық жабық құрылымдарын көпшілік тұтынушыға берді.

90 жылдары басқа елдерде және региондарда да NSFNET тәрізді желілер жасалды. Еуропада EuropaNET зертеуіш ұйымдарға арналған IP-магистраль, ал EBONE коммерциялық бағыттағы желі болып саналады. Екі желі де көптеген Еуропа қалаларын байланыстырады. Арнадар жылдамдығы бастапқыда 2 Мбит/с болатын, кейіннен ол 34 Мбит/с-қа дейін өсірілді. Ақыр аяғы Еуропадағы желілік инфраструктура АҚШ-тағыдай өнеркәсіптік салаға айналды.

Интернет өзінің бастапқы пайда болған кезінен әлдеқайда өзгерді. Ол 1990 жылдардың басында World Wide Web (WWW) дамуымен жылдам өзгере бастады. Internet Systems Consortium мәліметі бойынша енгізілген түйіндер саны 600 миллионнан асады. Бұл сан – дәлелденбеген баға, бірақ ол 1994 жылы CERN-де өткен WWW бірінші конференциясы кезінде болған бірнеше миллион түйіннен әлде қайда көп.

Интернетті қолдану да түбегейлі өзгерді. Бастапқыда академиктерге арналған электронды пошта, жаңалықтар тобы, жүйеге қашықтықтан қол жеткізу және файлдарды тасымалдау тәрізді қосымшалар бірінші кезекте болды. Кейіннен көшілікке арналған электронды пошта, сонан кейін Web және жабылып қалған

Napster тәрізді контентті таратудың бірраңгілік желілері пайда болды. Енді қазір нақты уақыты БАҚ тарату, әлеуметтік жерлілер (мысалы, Facebook) және микро-блогинг (мысалы, Twitter) дамып келеді. Бұл өзгерістер Интернетке медианың көптеген түрлерін әкелді, демек, трафик өсті. Нақты Интернеттегі басыңқы трафик, біршама жиі өсіп отырады, мысалы, әуендерді өңдеудің жаңа және жақсы әдістері немесе видео өте жылдам танымал бола алады.

Интернет архитектурасы

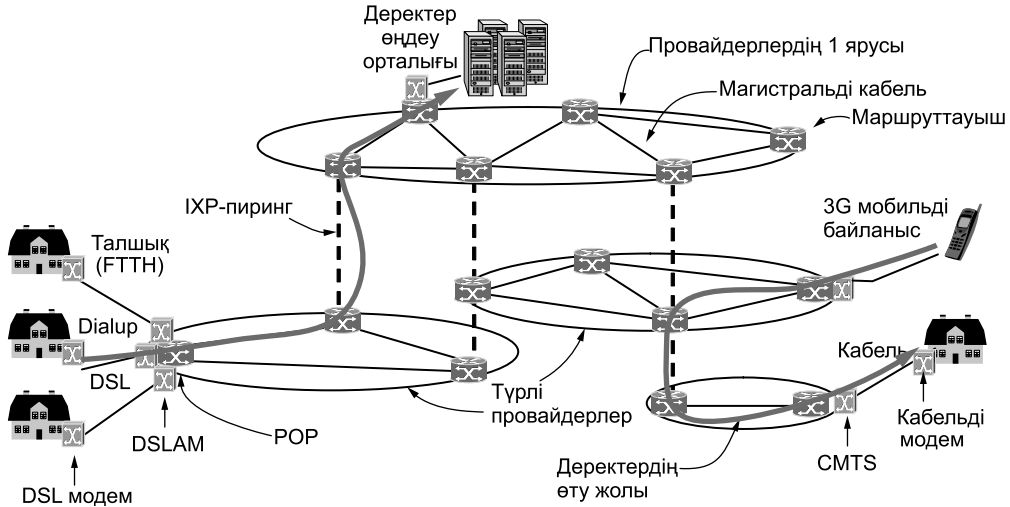
Интернеттің жылдам дамуына байланысты оның архитектурасы да түбегейлі өзгерді. Бұл тарауда біз Интернеттің қазіргі түріне қысқаша шолу жасауға тырысамыз. Телефон компанияларының (telcos) фирмаларындағы, кабельдік компаниялардағы және интернет-провайдерлердегі үздіксіз өзгерістерге байланысты, көп жағдайда кімнің не жасайтындығын айту мүмкін емес. Бұл өзгерістерді қозғалтушылардың бірі – телекоммуникациялық конвергенция – желіні жаңа сапада пайдалану. Мысалы, «үштік ойында», компания сізге бір желі бойынша байланысқан телефонияны, теледидар және интернет-қызметін сатады, себебі бұл сіздің ақшаңызды үнемдейді. Демек, мұндағы сипаттама қажетінше, нақты жағдайға қарағанда қарапайым болады. Және бүгінгі ақиқат, ертең мүлдем ақиқат болмауы мүмкін.

Жалпы көрініс *1.26-суретте* бейнеленген. Енді осы суреттің әр бөлігін, үйдегі компьютерден (сурет шетінде) бастап зерттейік. Интернетке қосылу үшін компьютер интернет-провайдермен (Internet Service Provider, ISP) байланысады. Ол одан Интернетке қол жеткізуді немесе байланысты сатып алады. Бұл компьютерге Интернеттегі барлық қол жеткізу түйіндермен десте алмасуға мүмкіндік береді. Тұтынушы, желі бойымен қозғалу үшін дестелер жібере алады немесе оны пайдаланудың басқа да мыңдаған мүмкіндіктерін қолдана алады, ол маңызды емес. Интернетке қол жеткізудің көп түрі бар. Олар бір-бірінен қандай да өткізгіштік жылдамдықты қамтамасыз ететіндігімен, бағасымен ерекшеленеді, бірақ басты көрсеткіш – байланыс.

Провайдермен байланысудың кең таралған тәсілі, сіздің үйіңіздегі телефон торабы. Бұл жағдайда сіздің провайдеріңіз – телефон компаниясы. **DSL (Digital Subscriber Line)** сандық деректерді тасымалдау үшін сіздің үйіңізбен байланысқан телефон торабын пайдаланады. Компьютер, DSL модемі деп аталатын құрылғымен байланысады. Модем, телефон торабы арқылы өтетін, сандық дестелер және аналогтық сигналдар арасындағы түрлендірулерді орындайды. Екінші жағынан, **DSLAM (жазылушы қолжеткізу сымының сандық мультиплексоры – Digital Subscriber Line access Multiplexer)** деп аталатын құрылғы сигналдар мен дестелер арасындағы түрлендірулерді іске асырады.

Провайдермен байланысудың бірнеше танымал тәсілдері *1.26-суретте* көрсетілген. Жергілікті телефон торабын қолданған кезде, дәстүрлі телефон торабы бойынша дауыспен әңгімелесу орнына биттер жібергенде, DSL жылдамдығы әлде қайда жоғары. Бұл коммутациялық қолжеткізу деп аталады және тораптың екі

басында әртүрлі модемдер көмегімен іске асырылады. Модем – «модулятор демодулятор» сөздерінің қысқартылымы, сандық биттер мен аналогтық сигналдар арасындағы түрлендірулерді жүзеге асыратын кез келген құрылғы осылай деп аталады.



1.26-сурет. Архитектураға қысқаша шолу

Басқа тәсіл – сигналдарды кабельдік теледидар жүйесі арқылы тасымалдау. DSL тәрізді бұл тәсілде қолданыстағы инфрақұрылымды, кабельдік теледидардың қолданылмаған арналарын пайдаланады. Үйдегі құрылғы кабельдік модем, ал кабельдің басты түйініндегі құрылғы **CMTS (Cable Modem Termination System – кабельдік модемді аяқтау жүйесі)** деп аталады.

DSL мен кабель, жүйеге байланысты, секундына бірнеше мегабиттік жылдамдықпен Интернетке қолжеткізуді қамтамасыз етеді. Бұл жылдамдықтар – дыбыстық шақырылымдар үшін пайдаланылатын жіңішке өткізгіштік қабілеті, 56 Кбит/с жылдамдықты коммутациялық қолжеткізуге қарағанда әлде қайда жоғары. Коммутациялықтан әлде қайда жоғары жылдамдықпен Интернетке қолжеткізу кеңжапақтық деп аталады. Атау нақты желі емес, жылдам желілер үшін қолданылады, кең өткізгіштік қабілетті дегенді білдіреді.

Осыған дейін айтылып келген, қолжеткізу тәсілі, тасымалдаудың «соңғы милі» немесе соңғы кезеңнің өткізгіштік қабілетімен шектеледі. Тұрғын орындарға опыталшықты жеткізген кезде Интернетке қолжеткізу жылдамдығы әлдеқайда артады, шамамен, жылдамдық 10-100 Мбит/с. Бұл жоба **FTTH (Fiber to the Home -Талшық үйге)** деп аталады. Коммерциялық аумақтағы фирмалар үшін офистан провайдерге дейін жоғары жылдамдықты торапты жалға алу маңызды. Мәселен, Солтүстік Америкада ТЗ тораптары 45 Мбит/с жылдамдықпен жұмыс жасайды.

Интернетке қолжеткізу үшін сымсыз байланыс та қолданылады. Біз қысқаша

қарастыратын мысалдар, ұялы байланыс желілерінің үшінші буыны. Олар қамту аумағындағы қозғалыссыз абоненттерге және ұялы телефондарға, деректерді 1 Мбит/с немесе одан да жоғары жылдамдықпен тасымалдауды қамтамасыз етеді.

Енді дестелерді үймен провайдер арасында тасымалдай аламыз. Біз тұтынушы дестелері провайдер желісіне, **POP (Point of Presence, Қатысу нүктесі)**, кіретін орынды атаймыз. Әрі қарай біз дестелердің әртүрлі провайдерлердің қатысу нүктелері арасында қозғалысы жайлы айтамыз. Осы сәттен бастап жүйе толығымен сандық және дестелерді коммутациялауды пайдаланады.

Желілер аймақтық, ұлттық немесе халықаралық көлемде болуы мүмкін. Біз олардың архитектурасының, провайдерлер әрекет ететін, әртүрлі қалалардағы қатысу нүктесіндегі маршрутизаторларды байланыстыратын, алыстағы тасымалдау тораптарынан құралғанын көрдік. Бұл құрылғы ISP магистралі деп аталады. Егер десте ISP қызмет көрсететін түйінге арналған болса, ол магистраль бойымен бағыттталып түйінге жеткізіледі. Кері жағдайда ол басқа ISP-ге беріледі.

Провайдерлер **IXP-де (Internet eXchange Points, интернет-трафик алмасу нүктесі)** трафикпен алмасу үшін, өз желілерін біріктіреді. Біріккен провайдерлер бір-бірін көреді. Дүниежүзі қалаларындағы провайдерлер жиыны *1.26-суретте* тігінен көрсетілген. Себебі желі географиялық түрде жасалады. Әдетте, IXP – бұл маршрутизатор толған бөлме, бір провайдерге кем дегенде бір маршрутизатор. Бөлмедегі ЖЕЖ-сі барлық маршрутизаторларды байланыстырады, сөйтіп дестелер провайдердің кез келген магистралінен басқаға жөнелтіледі. Интернет-трафикпен алмасу нүктесі тәуелсіз меншікте және үлкен болуы мүмкін. Ең үлкендерінің бірі – Amsterdam Internet Exchange. Онымен, секундына жүздеген гигабит трафикпен алмасатын, жүздеген провайдер біріккен.

Интернет-трафик нүктелерінде жүретін, теңқұқықтық аппараттық алмасу, провайдерлер арасындағы іскерлік қарым қатынасқа тәуелді. Мүмкін қарым-қатынас түрлері көп. Мысалы, кіші провайдер үлкен провайдерге, қашықтықтағы түйінге жету мақсатында, интернет-байланыс үшін төлем ақы беруі мүмкін; клиент интернет-провайдерден қызмет түрін сатып алғанға өте ұқсайды. Бұл жағдайда, кіші провайдер транзит үшін төлейді деп айтады. Баламалы түрде, екі үлкен провайдер, әрқайсы басқасына қандайда бір трафик беріп, транзит үшін төлем ақы бермей, өзара трафикпен амасу мүмкін.

Интернет-технологиялардың бір парадоксі, бір-бірімен клиент үшін ашық бәсекелесетін провайдерлер, көбіне, өз араларында бір рангілі байланыс ұйымдастырады (Metz, 2001).

Интернет бойымен қозғалатын дестенің жолы, провайдерлер арасындағы байланысты таңдауына тәуелді. Егер, дестені жөнелтетін провайдер қабылдау орнымен байланыста болса, онда ол дестені тікелей жеткізуі мүмкін. Басқа жағдайда ол пакетті жақын жердегі ақылы транзит провайдерімен байланыс бар орынды, дестені провайдер жөнелте алатындай етіп жеткізеді. *1.26-суретте* провайдерлер арқылы өтетін екі жолдың мысалы көрсетілген. Көбіне, дестенің Интернет арқылы өтетін жолы ең қысқасы болмайды.

«Азық қатарының» үстінде, мындаған маршрутизаторлары бар, өткізгіштігі

жоғары оптогалшықты сымдармен байланысқан, үлкен халықаралық базалық желілерді басқаратын, AT&T және Sprint тәрізді аздаған компаниялар жиыны тұр. Бұл компаниялар транзит үшін төлемейді. Оларды әдетте, провайдерлердің бірінші қабаты деп атайды және олар Интернет магистралін құрайды. Ал қалған компаниялар Интернетке қол жеткізу үшін олармен байланысуы керек.

Көп контентті қамтамасыз ететін Google және Yahoo тәрізді компаниялар өз компьютерлерін, Интернеттің қалған бөлігімен жақсы байланысқан **ақпараттық орталықтарда** орналастырады. Ақпараттық орталықтар адамдар үшін емес, компьютерлер үшін құрастырылған серверлік ферма деп аталатын машиналар тұрағымен толтырылады. Провайдерлердің қатысу нүктелерінде сервер тәрізді жабдықтамаларды орналастыруға мүмкіндік беретін, хостинг ақпараттық орталығы клиентерінің орналасуы, провайдер серверлері мен магистралдары арасында қысқа, шапшаң байланыстарды қамтамасыз етуі керек. Интернет-хостинг индустриясы бара бара виртуалды болып барады, сол себепті нақты физикалық компьютерді орнату орнына серверлік фермада жұмыс істейтін виртуалды компьютерді жалға алу мүмкіндігі кең тараған. Бұл ақпараттық орталықтардың үлкендігі (ондаған немесе жүз мыңдаған машиналар) соншалық, олардың негізгі шығындары – электр қуаты. Сол себепті ақпараттық орталықтар кейде электр қуаты арзан аумақтарда салынады.

Осымен Интернет құрылымына қысқаша шолуды аяқтаймыз. Алда бұл сұрақтың жекелеген құрамдас бөліктері: жобалау, алгоритмдер, хаттамаларды оқуға арналған тараулар жеткілікті. Тағы бір ескертетін жағдай – «Интернетте болу» ұғымының өзгеруі. Біз, машина Интернетте, егер: (1) TCP/IP стегінің хаттамалары орындалса; (2) оның IP-адресі бар болса; және (3) ол Интернеттегі басқа машиналарға IP-дестелер жолдай алса дегенге үйренгенбіз. Алайда, провайдерлер IP-адресстерді көбіне, қайталап қолданады, нақты уақытта қандай компьютерлердің жұмыс істеп отырғандығына байланысты және үй желілерінде бір IP-адрес бірнеше компьютер үшін қызмет етеді. Бұл тәжірибе екінші шартқа қайшы келеді. Брандмауэр тәрізді қауіпсіздік шаралары компьютерлерді дестелер қабылдаудан жиі шектетуі мүмкін, бұл үшінші шартқа қайшы. Осы қиындықтарға қарамастан, машина өз провайдерімен байланыста болған уақытта, машина Интернетте деуге болады.

Тағы бір жағдайды айта кеткен дұрыс: өздерінің ішкі желілерін біріктіретін компаниялар көбіне ауқымды Интернет желісінде қолданылатын технологияларды пайдаланады. Бұл интражелілердің деректерге қол жеткізуі компания аумағымен немесе компанияға тиесілі ноутбуктермен шектеледі. Басқа тұрғыдан қарағанда, бұл сол Интернет, тек миниатюрада.

1.5.2. Үшінші буынның ұялы телефон желісі

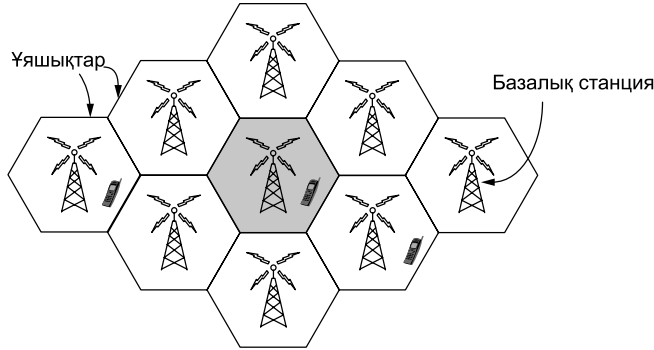
Адамдар телефонмен сөйлескенді Интернет шарлағаннан да әлде қайда жақсы көреді. Міне, осы жағдай ұялы телефон желісін дүниежүзіндегі ең танымал

желіге айналдырды. Абоненттер саны төрт миллиардтан асып жығылды – бұл Жер тұрғындарының 60 пайызын, интернет-түйіндері саны және стационарлы телефон тораптарынан (ITU, 2009) да көп. Соңғы 40 жылда ұялы байланыс желісі әлдеқайда өсті және оның архитектурасы қатты өзгерді. Бірінші буын жүйелері дыбыстық шақырылымдарды биттер тізбегі емес, үздіксіз (аналогтық) сигналдар түрінде тасымалдады. 1982 жылы Америка Құрама Штаттарында ашылған **AMPS (Advanced Mobile Phone System)** жүйесі бірінші буынның ең танымал жүйесі болды. Екінші буын жүйесі дыбыстық шақырылымдарды сандық түрде тасымалдай бастады. Бұл оның өткізгіштік қабілетін өсірді, қауіпсіздікті арттырып, мәтіндік мәлімдемелермен алмасуға мүмкіндік берді. **GSM (Global System for Mobile communications)** - ұялы байланыстық ауқымды жүйесі) 1991 жылы ашылды және дүниежүзіндегі ең көп қолданылатын ұялы телефон жүйесіне айналды. Бұл жүйе де 2G - екінші буын жүйесіне жатады.

Үшінші буын немесе 3G-жүйесі 2001 жылы пайда болды. Олар дыбысты сандық тасымалдауды және мәліметтерді кеңжолалық сандық тасымалдауды ұсынады. 3G-жүйелерде әртүрлі көптеген стандарттар қолданылады, ITU (біз оны келесі бөлімде қарастырамыз) 3G мәліметтерді тасымалдауды тыныштықтағы тұтынушы үшін 2 Мбит/с, транспортпен қозғалыстағылар үшін 384 Кбит/с жылдамдықпен қамтамасыз ету керек дейді. **UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)**, сонымен бірге **WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)** деп аталатын жүйе дүниежүзінде жылдам таралып келе жатқан 3G-жүйесінің негізі болып саналады. Ол кірістегі ақпарат үшін 14 Мбит/с ал шығыстағыға 6 Мбит/с дейін жылдамдықты қамтамасыз ете алады. 3G-жүйесінің келесі баламалары, тұтынушыларға бұдан да жоғары жылдамдықты ұсынатын, антеналар кешенін және тасымалдауыштарды (передатчики) қолданатын болады.

3G-жүйесінің ең осал жері (алдыңғы 1G- және 2G-жүйелеріндегідей) – радиожілік тарамдарының шектеулілігі. Үкімет мобилді желі операторларына жиіліктерді қолданысқа бере алады, ол үшін қызығушылығы бар тұлғалар аукционға қатысып, ұтыс тігеді. Жиілік диапазондарын лицензиялау, жүйелерді құрастырып, басқаруды жеңілдетеді. Себебі сатылған жиілікте басқа ешкім тасымалдауға рұқсат ала алмайды, алайда, бұл өте қымбат. Мәселен, 2000 жылы Ұлыбританияда 3G-дің бес лицензиясы \$40 млрд. шамасында сатылды. Жиілік диапазондарының тапшылығы, *1.27-суретте* бейнеленген, қазіргі қолданыстағы ұялы байланыс схемасының пайда болуына әкелді. Тұтынушылар арасында радиобөгеттердің пайда болуын төмендету үшін, қамту аумақтары ұяларға (соты) бөлінген. Ұя шекарасында тұтынушыларға, бір-біріне және шекаралас ұяларға кедергі жасамайтындай арнадар тағайындалады. Осылайша спектордың тиімді қолданылуы және көршілес ұялардағы жиілік диапазондарын қайталап пайдалану жүзеге асырылады. Бұл желінің өткізгіштік қабілетін арттырады. Бірінші буын жүйелерінде әр дыбыстық мәлімдеме белгілі бір жиілік диапазонында тасымалдаған. Көршілес ұяларда келеңсіздіктер туындамас үшін диапазондарды мұхият таңдау қажет болды. Көршілес ұялар тобында бір жиілікті бір рет қолдануға болады. Қазіргі заманғы 3G-жүйесі әр ұяға қолжеткізімді жиіліктер диа-

пазонын толық қолдануға мүмкіндік береді және көршілес ұялардың жұмысын да еш кедергісіз қамтамасыз етеді. Жеке ұяларды құрастырудың көптеген әдістері бар, мысалы, ұялар арасындағы әрекеттерді азайтатын, бағытталған және секторлық антенналарды пайдалану, бірақ негізгі идея – сол біреу.



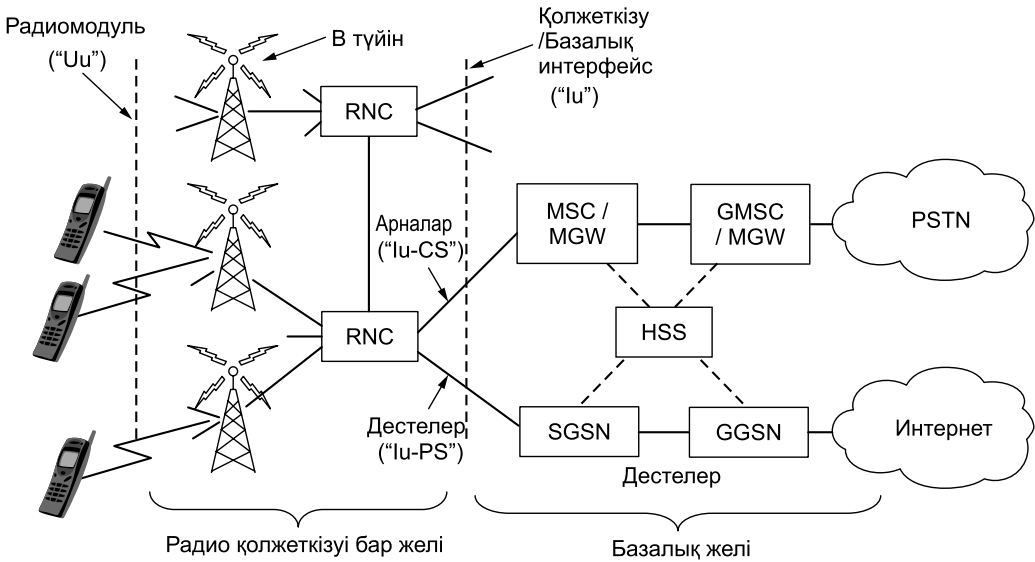
1.27-сурет. Ұялы ұялы телефон желісінің схемасы

Ұялы желі құрылымы Интернет құрылымынан мүлдем өзгеше. Ұялы желіні, UMTS құрылымының қарапайымдатылған схемасындағыдай (1.28-сурет), бірнеше блоктарға бөлуге болады. Бірінші блок – радиоинтерфейс – мобильді құрылғылар (мысалы, ұялы телефон) және базалық мобильді станциялар арасында сымсыз байланыс кезінде деректер тасымалдайтын, радиобайланыс хаттамасының аты. UMTS радиоинтерфейсі арналарды кодтап бөлу – **CDMA (Code Division Multiple Access)** арқылы көптеп қол жеткізуге негізделген. Бұл әдісті біз екінші тарауда қарастырамыз.

Базалық ұялы байланыс станциясы контроллермен бірге **радиоқолжеткізу желісін** құрайды. Схеманың бұл бөлігі – ұялы телефон желілерінің сымсыз бөлігі. Контроллер түйіні немесе **RNC (Radio Network Controller – радиожелі контроллері)** секторды пайдалануды басқарады. Базалық станция радиоинтерфейсі – «В түйінін» қамтамасыз етеді.

Желінің басқа бөліктері желігі радиоқолжеткізу трафигін тасымалдайлы. Оны **базалық желі (core network)** деп атайды. UMTS базалық станциясы алдыңғы буынның 2G-жүйесінде қолданылатын, GSM базалық желісінен туындайды. Алайда, UMTS базалық желісінің көптеген өзгешеліктері бар.

Желілер пайда болғаннан бері, дестелік желілер (байланыссыз ішкі желілер) және арналарды коммутациялау (байланысқа бағытталған ішкі желілер) қолдаушылар арасындағы тартыс жалғасып келеді. Дестені қолдаушылар көбіне интернет-бірлестіктерден құралған. Қосу орнатылмайтын схемада әр десте басқаларға тәуелсіз қозғалады. Бұның салдары, егер сеанс кезінде маршрутизаторлар істен шықса, ол қозғалысқа еш әсер етпейді. Жүйе өзін динамикалық түрде қайта конфигурациялап, келесі дестелердің барар жеріне, алдыңғы дестелерден өзге маршрутпен жетуіне мүмкіндік береді.



1.28-сурет. 3G UMTS ұялы байланыс желісінің құрылымы

Арналарды коммутациялау желісін қолдаушылар телефон компаниялары әлеміне жатады. Телефон желісінде сөйлесуге және деректерді жөнелту үшін қоңырау шалушы нөмірді теріп, байланыс орнатылғанын күтуі керек. Байланыс, телефон желісі бойынша қоңырау аяқталғанша тұрақты болып қалатын қозғалыс маршрутын орнатады. Барлық сөздер немесе дестелер бір маршрутпен қозғалады. Егер торап немесе коммутатор істен шықса, қоңыру үзіледі. Бұл нұсқа, қосу орнатылмайтын желіге қарағанда қателіктерге тұрақсыз.

Арналарды коммутациялау желісінің артықшылығы, мұнда қызмет көрсету сапасын қамтамасыз ету әлде қайда жеңіл. Байланыстарды алдын-ала баптап, ішкі желінің ресурстарын, мысалы, арнаның жиілік арнасын, коммутаторлар буферін және орталық процессорын жүктеуіне, резервте ұстауына мүмкіндігі бар. Егер шақыруды баптау керек болса, ал ресурстар жеткіліксіз келсе, онда шақыру кері қайтарылып, шақырушы «бос емес» сигналын алады. Сөйтіп байланыс бапталғаннан кейін, жоғары сапалы қызметке кепілдік беруге болады.

Егер қосу орнатылмайтын желіде маршрутизаторлардың біріне, бір мезгілде дестелер тым көп келсе, маршрутизатор істен шығып, ақпараттық бір бөлігі жоғалып кетуі ықтимал. Жөнелтуші оны көріп, ақпаратты қайта жібереді. Қызметтің мұндай деңгейі аудио және бейне ақпараттар үшін, әсіресе, желі шектен тыс жүктелген кезде жеткіліксіз. Демек, телефон компанияларын байланыстан гөрі дыбыс сапасы әлдеқайда көбірек толғандырады.

1.28-суретте көрсетілген схеманың ерекшелігі, базалық желіде дестелік және арналық маршруттау қолданылады. Мұны, екі байланыс түрін бірге және жеке қолданғанды, мобильді байланыс желісінің аралық жағдайы көрсетеді.

Ескі желілер дыбыстық мәліметтерді тасымалдау үшін, дәстүрлі телефон желісі стилінде, арналық маршруттау ядросын пайдаланған. Бұл «мұрагерлікті», **PSTN (Public Switched Telephone Network)** тәрізді арналарды коммутациялау желісін баптайтын, **MSC (Mobile Switching Center)**, **GMSC (Gateway Mobile Switching Center)** және **MGW (Media Gateway)** элементтері бар UMTS желісінде байқауға болады.

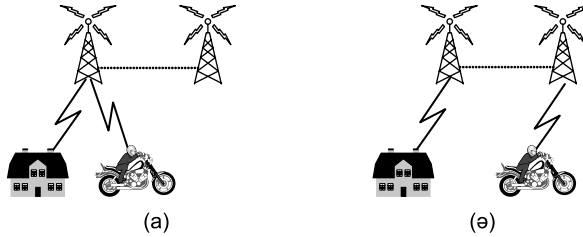
GSM жүйесінде мәтіндік мәліметтермен және алғашқы GPRS (General Packet Radio Service) дестелік ақпараттық хаттамалармен алмасу мүмкіндігі пайда болғалы сандық түрлендіру, ұялы желілердің ең маңызды бөлігі бола бастады. Ескі ақпараттық хаттамалар секундына ондаған килобит жылдамдықпен жұмыс жасады, ал тұтынушылар жылдамдықтың жоғары болғандығын қалады. Дестелік тасымалдау жылдамдығы жаңа желілерде секундына мегабитпен өлшенеді. Дыбыстық қоңыру 64 Кбит/с жылдамдықпен, сығылған түрде 3-4 есе жылдам тасымалданады.

Бұл деректердің барлығын тасымалдау үшін UMTS негізгі желілік түйіндері дестелік-коммутациялық желімен тікелей байланысады. **SGSN (Serving GPRS Support Node)** және **GGSN (Gateway Support Node)** ұялы телефондарға деректер дестесін жеткізеді, қабылдайды және дестелік коммутациямен жұмыс жасайтын Интернет тәрізді сыртқы желілермен байланыстырады.

Осы тәсілдеме қазіргі кезде құрастырылып, іске қосығалы отырған ұялы телефон желілерінде сақталады. Десте коммутациялау желілерінде, мысалы IP-телефонияда, дыбыстық мәліметтер байланысын баптау кезінде, ұялы телефония үшін арнайы интернет хаттамалар да қолданылады. IP және дестелер әр деңгейде – радио қолжеткізуден базалық желіге дейін қолданылады. Әрине, жоғары сапалы қызмет көрсету үшін, IP-желілер құрастырылатын әдістер өзгереді. Бұлай болмаған жағдайда үзілген аудио- немесе бейнепрокат, қалталы тұтынушылардың мұндай технологияның қажеттілігіне күмәнін туғызар еді. Біз бұл тақырыпқа *5-тарауда* қайта ораламыз.

Дәстүрлі Интернет пен мобильді желілер арасындағы тағы бір ерекшелік – қозғалыс. Тұтынушы бір базалық станцияның қызмет ету аумағынан келесі аумаққа ауысқанда деректер ағыны бір базалық станциядан келесісіне қайта бағытталуы тиіс. Бұл әдіс шақыруды қайта адрестеу деген атпен белгілі және *1.29-суретте* бейнеленген.

Икемді құрылғы немесе базалық станция сигнал сапасы төмендеген кезде базалық станцияны ауыстыруды сұрауы мүмкін. Кейбір желілерде, көбіне CDMA-технологиясына негізделген, жаңа базалық станцияға, алдыңғы базалық станциямен байланыс үзілмей тұрып қосылуға болады. Бұл байланыс сапасын жоғарылатады, себебі қызмет көрсетуде ешқандай үзіліс болмайды. Қысқа уақыт ішінде ұялы телефон екі базалық станциямен бір мезгілде байланысады. Деректер тасымалдаудың бұл әдісі, ұялы телефон жаңа станцияға қосылмас бұрын ескі станциядан ажырайтын **қатты байланыс түрінен өзгеше, жұмсақ тасымалдау** деп аталады.



1.29-сурет. Ұялы телефон тасымалдауы: а – дейін, ә – кейін

Осыған байланысты қосымша мәселе туындайды – кірістегі шақыру кезінде ұялы телефонды анықтау. Әр мобилді желінің базалық желіде **HSS-pi (Home Subscriber Server)** бар. HSS әр абоненттің қай жерде орналасқанын, сонымен бірге аутентификация және авторизацияға қажет жақ жайлы басқа да ақпаратты біледі. Сонымен, әр ұялы телефонды HSS арқылы анықтауға болады.

Соңғы талқыланатын мәселе – қауіпсіздік. Телефон компаниялары о бастан компания мүддесінен гөрі қауіпсіздікке әлде қайда көп көңіл бөлген. Бұл қызмет түрі уақытылы ақы талап ету және төлем кезінде алаяқтықты болдырмау үшін қажет. Технологияның 1G-ден 3G-ге дейін дамуы ұялы байланыс компанияларының қауіпсіздіктің негізгі механизмдерін ойлап шығаруына әкелді.

2G-ден бастап ұялы телефон екі бөліктен: телефон аппаратының өзі мен жазылушының идентификаторынан және тіркеу жазбасы жайлы ақпарат жазылған ауыстырмалы чиптен тұрады. Чип бейресми **SIM-карта – Subscriber Identity Module** деп аталады. SIM-картаны әртүрлі телефон тұтқаларына салуға болады, олар қауіпсіздік базисін қамтамасыз етеді. GSM клиенттері саяхаттағанда, басқа елге немесе жол сапарға шыққанда, олар өз телефондарын ала барады. Барар жеріне келгеннен кейін, жергілікті жерде роумингке ақы төлемей қоңырау шалу үшін, бірнеше долларға жаңа SIM-карта сатып алады.

Алаяқтықты қысқарту, абоненттің шын, нақты өзі және оның желіні пайдалануға құқығы бар екендігін тексеру үшін, желіде SIM-карта жайлы ақпарат та қолданылады. UMTS-де ұялы телефон SIM-карта жайлы ақпаратты, оның желіні заңды түрде пайдаланғанын тексеру үшін де қажет.

Қауіпсіздіктің тағы бір аспектісі – жеке бас өмірі. Сымсыз сигналдар барлық қабылдаушыларға бірден беріледі. Екі абонент арасындағы әңгімені басқалар тыңдамас үшін, SIM-карталар ақпаратты шифрлеуға мүмкіндік беретін шифрлеу кілтін пайдаланады. Бұл тәсіл, тыңдауға оңай мүмкіндік беретін 1G-жүйесіне қарағанда, жеке бас өмірін әлде қайда жақсы қорғайды, бірақ шифрлеу схемасындағы кемшіліктерді толық жоймайды.

Ұялы желілер болашақ желілерде орталық рөлді ойнайтындай етіп құрылған. Қазір олар дыбыстық мәлімдемелерден гөрі, ұялы кеңжолалық қосымшалармен көбірек айналысады. Мұның ең маңызды салдары: радиоинтерфейстердің пайда болуы, базалық желілер архитектурасының өзгеруі және болашақ желілердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету. 4G-технологиялар әлде қайда жылдам және

жақсы. Олар **LTE (Long Term Evolution)** атпен құрастырылуда, ал 3G дамуын жалғастыруда. Ұялы және тұрақты клиенттерге Интернетке кеңжолақтық қол жеткізу мүмкіндігін ұсынатын басқа да сымсыз технологиялар бар. Мысалы, **WiMAX** деген ортақ атпен белгілі 802.16 желілері. LTE және WiMAX технологияларын бәсекелес деп айтуға болады және болашақта олармен не болатынын айту қиын.

1.5.3. Сымсыз ЖЕЖ: 802.11

Ноутбуктердің пайда болуымен байланысты адамдарда, жұмысқа бара жатып қандай да бір ғажайып жолмен Интернетке қол жеткізіп, соңғы жаңалықтарды оқысам деген ойлар туындай бастады. Көптеген компаниялар сәйкес аппараттық жабдықтамалар құрастыру мәселесін шешуге кірісе бастады. Жақын арада тәжірибелік тұрғыдан тиімді шешім табылды. Ол шешім, ноутбуктер мен офистағы дербес компьютерлерді, олар өзара байланыса алатындай, кішігірім радиустағы сингалдарды қабылдайтын радиотасымалдағыштармен жабдықтау болды.

Нарықта, әртүрлі өндірушілер жасаған, алғашқы сымсыз жергілікті желілер пайда болды. Басты мәселе, әртүрлі фирмалар желілерінің өзара мүлдем үйлесімсіздігі болды. Мысалы, А фирмасының тасымалдаушымен жабдықталған компьютер Б фирмасының базалық станциясы тұрған ғимаратта жұмыс жасай алмады. 1990 жылдың ортасында сымсыз ЖЕЖ-ін бір стандартқа келтіру шешімі қабылданды. Қолданыстағы көптеген технологияларды сараптап, бірыңғай концепцияны қабылдау, қарапайым ЖЕЖ стандарттау тәжірибесі бар IEEE институтына тапсырылды.

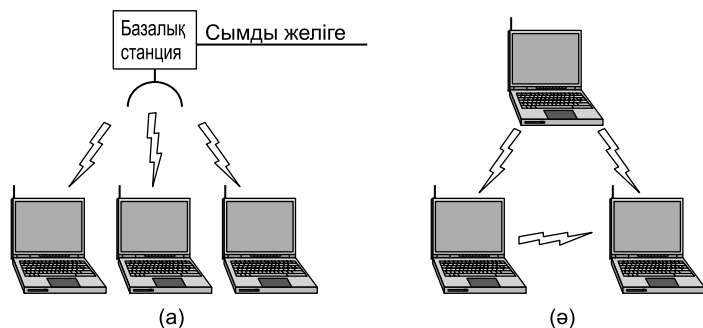
Бірінші шешім ең жеңілі: желі аты. Қолданыстағы барлық ЖЕЖ-нің нөмірлері болды: 802.1, 802.2, сөйтіп 802,10-ға дейін, сымсыз ЖЕЖ 802.11 деп аталды.

Кәсіптік тілде желі **WiFi** деп аталды. Бұл стандарт өте маңызды және біз оны өз атына сәйкес – 802.11 деп атаймыз.

Әрі қарай ең қиыны мәселелер қарастырылды. Бірінші мәселе – мүмкіндігінше дүниежүзінде қол жеткізу, қолайлы жиілік диапазонын табу. Шешім, ұялы желілерде қолданылатын нұсқадан ерекше болды. Нақты жиілік диапазонына қымбат лицензияны сатып алудан бас тартып, 802.11 ISM-ұйымдарының (өндірісте, ғылыми және медициналық ұйымдарда коммерциялық емес мақсатта қолдану) жиілігінде жұмыс жасай бастады. Мысалы, 902-928 МГц, 2.4-2.5 ГГц, 5.725-5.825 ГГц. Өзінің тасымалдау қуатын шектеп, басқа құрылғылар жұмысына кедергі келтірмеу керек деген шартпен, барлық құрылғылар бұл жиілікті пайдалана бастады. Бұл, 802.11-тасымалдауыштары тұрмыстағы сымсыз телефондар, гараж есігін ашатын құрылғылар және микротолқынды пештер жұмысына кедергі келтіреді дегенді білдіреді.

802.11-желісін ғимаратта орналасқан ноутбуктер, ұялы телефондар және AP-инфрокұрылымдар (AP, Access point – қол жеткізу нүктесі) құрайды. Қол жеткізу нүктесін кейде базалық станция деп атайды. Сонымен бірге, желі клиенттері бір-

бірімен тікелей хабарласа алады, мысалы, офистағы екі компьютер ғимараттағы қол жеткізу нүктесінсіз ақпарат алмаса алады. Мұндай конфигурация сымсыз жергілікті желі (ad hoc network) деп аталады. Ол қол жеткізу нүктесі режиміне қарағанда, сирек қолданылады. Екі режим де *1.30-суретте* бейнеленген.



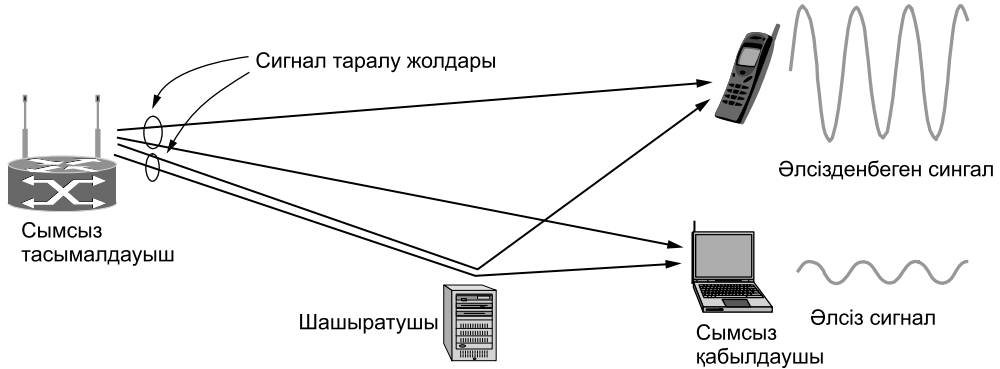
1.30-сурет. Қол жеткізу нүктесі бар сымсыз желі (а); арнайы желі (б)

802.11-де сигналдарды тасымалдау ауа кеңістігінде жүзеге асырылады, ал жағдай қоршаған ортаға тәуелді. 802.11 падаланатын жиіліктерде радиосигналдар қатты заттардан шағылады, сөйтіп қабылдаушы негізгі сигналдан басқа, бір мезгілде бірнеше бағыттағы жаңғырықтарды да тіркейді. Қайта шағылған сигналдар бір бірін басып немесе күшейтіп, алынған сигнал деңгейінің толқуын тудыруы мүмкін. Бұл **көпсәулелік таратыру салдарынан тына қалуы** деп аталады. Бұл кемшілік *1.31-суретте* бейнеленген.

Сымсыз тасымалдаудың құбылмалы жағдайын болдырмаудың негізгі әдісі – ақпаратты бірнеше тәуелсіз жолмен тасымалдау. Сөйтіп деректер жолдардың бірінің тына қалу эффектінің салдарынан басылып қалса да, қабылдануы ықтимал. Бұл тәуелсіз жолдар, физикалық деңгейде модуляцияның сандық схемасына ендіріледі. Нұсқалар – жеткілікті рұқсат етілген жолақ шеңберінде бірнеше жиілікті пайдалану, әртүрлі антеналар жұбының арасында тасымалдау жолдарын өзгерту немесе биттерді белгілі бір уақыттан кейін қайталау.

802.11-дің әртүрлі баламалары аталған әдістің барлығын қолданды. Бастапқы (1997) стандартқа байланысты ЖЕЖ 1 немесе 2 Мбит/с жылдамдықпен, жиілікті секірмелі ауыстырып-қосып немесе сигналды рұқсат етілген жиілік диапазоны аралығында шашыратып жұмыс жасады. Адамдар бірден, тым баяу деген шағым айта бастады, бірден жылдам жұмыс жасайтын стандарт құрастыру қолға алынды. Кеңжолалық сигнал нұсқасы 1999 жылы стандарт болып қабылданып, 802.11b 11 Мбит/с жылдамдықпен жұмыс жасады. 802.11a (1999) және 802.11g (2003) стандарттары басқа модуляция схемасын – **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing– сигналды ортогоналды жиілік арқылы бөліп мультиплекстеу)** пайдаланды. Бұл схема, кең спектрлер жолағын көптеген әртүрлі биттер параллель тасымалданатын жіңішке фрагменттерге бөледі. Жақсартылған схема 802.11a/g тасымалдау жылдамдығын 54 Мбит/с-қа дейін өсірді, біз схеманы *2-тарғауда*

қарастырамыз. Бұл жылдамдықтың айтарлықтай өсуі еді, алайда, тұтынушылар өткізгішік қабілеттің жоғары болуын қалады. 802.11n (2009) – соңғы версиясы – кең жиіліктер диапазонын және бір компьютерге төрт антенна пайдаланады, бұл жылдамдықты 450 Мбит/с-қа дейін жеткізуге мүмкіндік береді.

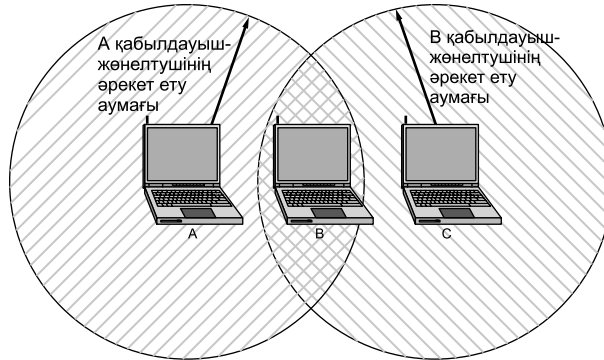


1.31-сурет. Көпсәулелік таратылу салдарынан тына қалу

Сымсыз тасымалдау негізінде кеңтаратылымды болғандықтан 802.11-тасымалдауыштары бір мезгілде көптеген сигналдарды тасымалдау мәселесі орын алады. Олар өзара интерференцияланып, қабылдауға әсер етеді. Бұл мәселені шешу үшін 802.11-де, **CSMA (Carrier Sense Multiple Access)** схемасында, классикалық сымды Ethernet идеялары – Гавайда жасалған ертедегі сымсыз желі – **ALOHA** қолданылады. Егер қандай да бір құрылғы ақпарат тасымалдап жатса, компьютерлер, қысқа кездейсоқ интервал аралығында күту режимінде болады және сигналды бөгейді. Бұл схема, екі компьютер бір мезгілде ақпарат жөнелтетін жағдай ықтималдығын төмендетеді. Бірақ схеманың жұмысы сымды желілерден өзгеше. Айырмашылықты көру үшін *1.32-суретті* қараңыз. А компьютері В компьютеріне ақпарат жөнелтті дейік, бірақ А тасымалдаушының деңгейі төмен, сол себепті сигнал С компьютеріне жетпейді. Мысалы, С компьютері В компьютеріне ақпарат жөнелтпек болды делік, бірақ оның А компьютерінің ақпаратын «естімегендігі» өз сигналының В компьютерімен қабылданатынына кепілдік болмайды. С-ның мұндай «керендігі» біраз мәселеге себеп болады. Кез келген қақтығыстық жағдайдан кейін, жөнелтуші ұзақ кездейсоқ уақытқа үзіліс алып, дестені қайта жөнелтеді. Осындай және тағы да басқа қиындықтарға қарамастан, практикада схема жақсы жұмыс жасайды.

Тағы бір мәселе – қозғалыс. Егер қозғалыстағы клиент пайдаланып тұрған қол жеткізу нүктесінен алшақтап, басқа нүктенің жұмыс шеңберіне ауысса, шешуді қажет ететін мәселе туындайды. 802.11-желісі әрқайсысының өз қол жеткізу нүктесі бар ұяшықтар жиынын біріктіре алады, ал басқарушы жүйе жеке ұяшықтарды біріктіреді. Мұндай жүйе Ethernet-ке жиі қосылады, бірақ кез келген басқа технологияны қолдануы мүмкін. Клиент қозғалыста болғанда, сигнал деңгейі әлде

қайда жақсы қол жеткізу нүктесінің зонасына түсіп, сол нүктеге қосылуы мүмкін. Сырттан мұндай жүйе кәдімгі сымды жергілікті желіге ұқсас.



1.32-сурет. Бір радиотасымалдауыштың әрекет ететін радиусы барлық жүйені толық қамтымайды

802.11 клиенттерінің қозғалғыштығы, ұялы телефон желілеріне қарағанда шектеулі. 802.11 желісін үнемі қозғалыстағы клиенттер емес, бір тұрғылықты орыннан келесісіне қозғалатын клиенттер пайдаланады. Мұндай қолданыс үшін толыққанды ұялық қажет емес. 802.11 қозғалыста пайдаланғанның өзінде, қозғалыс, қызмет ету аумағы бір ғимратты қамтитын, бір желі шеңберімен шектеледі. Болашақ схемалар, клиенттер әртүрлі желілерде және әртүрлі технологияларды (мысалы, 802.21) қолданғандағы қозғалғыштықты қамтамасыз етуі керек.

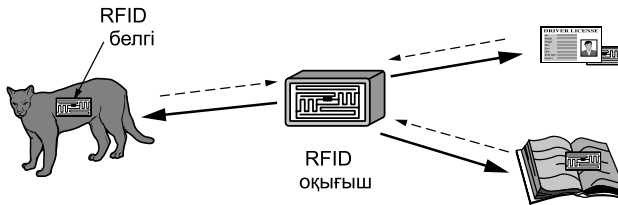
Келесі бір мәселе, қауіпсіздік. Сымсыз тасымалдау кеңтаратылымды болғандықтан, көршілес компьютерлер өздеріне арналмаған ақпараттар дестесін жеңіл ала алатын болады. Бұл келеңсіздікті болдырмас үшін 802.11 стандартында **WEP (Wired Equivalent Privacy)** шифрлеу схемасы қолданылады. Негізгі идея – сымсыз желіде сымды желідегідей қорғаныс түрін жасау. Идея жақсы болатын, алайда, оның кемшіліктері (Borisov және т.б., 2001) көп болып шықты. Кейінірек, 802.11i стандартында бекітілген, **WiFi Protected Access (WPA)** деген атпен шифрлеудің жаңа схемалары пайда болды. Қазіргі кезде WPA2 баламасы қолданыста.

802.11 стандарты сымсыз желілерде қазірге дейін жалғасып келе жатқан революцияны жасады. Мұндай желілер ғимраттардан басқа поездарда, ұшақтарда, кемелерде және автомобильдерде қолданылады, сол себепті адамдар кез келген жерде Интернетке шыға алады. Ұялы телефондар және кез келген тұрмыстық электроника, ойын қосымшаларынан бастап, сандық фотоаппараттарға дейін желіге қолжеткізе алады. Біз бұған *4-тарауда* толығырақ тоқталамыз.

1.5.4. RFID және сенсорлық желілер

Біз осы уақытқа дейін қарастырған желілер есептеу құрылғылармен – компьютерден ұялы телефонға дейін жасақталады. **Радиожилікті сәйкестендіру (RFID)** желіге күнделікті тұрмыстағы бұйымдарын қосуға мүмкіндік береді.

Электронды белгіні, кейіннен бақылау үшін, пошта маркасы тәрізді бұйымға жапсырып (немесе бұйымға енгізіп) қоюға болады. Мұндай бұйым ретінде кез келген нәрсені – жануарларды, төл құжатты, кітапті немесе кез келген қорапты алуға болады. Белгі бірегей сәйкестендіргіші және радиосигнал қабылдайтын антеннасы бар кішкене чиптен тұрады. Бақылау нүктелерінде орнатылған RFID оқығыштары белгілерді жақындағанда анықтап, *1.33-суретте* көрсетілгендей оған сұраныс жіберіп, ақпарат алады. Бұл сәйкестендіру жасауға, қою жүйелерін басқаруға және жылдамдықты өлшеп, штрихкодтардан бас тартуға мүмкіндік береді.



1.33-сурет. RFID күнделікті қолданыстағы бұйымдарды желіге қосу үшін пайдаланылады

RFID қасиеттері әртүрлі болуы мүмкін, бірақ RFID технологиясының басты қасиеті – көптеген RFID белгілерінің электрлік штепселі де, батареясы да жоқ. Қажет энергияның барлығы RFID оқығыштарына радиотолқын түрінде беріледі. Өз энергия көзі бар, **Активті RFID**-тен ажырату үшін, бұл технология **пассивті RFID** деп аталады.

RFID стандартты формасы – **УЖЖ RFID (Ultra-High Frequency RFID – ультро жоғарғы жиілікті RFID)** – контейнерлер және кейбір жүргізуші лицензиялары үшін қолданылады. АҚШ-та оқығыштар 902-928 МГц жолақтарында сигналдары таратады. Білгілермен хабарласу бірнеше метр арақашықтықта жүзеге асырылады. Белгі шағылып, сигналды өзгертеді, ал оқығыш оны қабылдап өңдейді. Бұл тәсіл **кері сәулелендіру** деп аталады.

RFID-дың келесі танымал түрі – **ЖЖ RFID (High Frequency RFID – жоғары жиілікті RFID)** – 13,56 МГц жиілікте жұмыс жасайды. Оны төл құжатқа, кредиттік карталарға, кітаптарға және қарым-қатынассыз төлем жүйелерінде пайдалануға болады. Кіші қашықтықтағы УЖЖ RFID – бір метрден көп емес, себебі сигналдың сәулелендіруі кері сәулелендіруге емес, индукцияға негізделген. RFID-дың басқа жиілікті пайдаланатын түрлері де бар, мәселен, ЖЖ RFID-ке дейін жануарларды бақылау үшін қолданылған – **LF RFID (Low Frequency RFID - төменгі жиілікті RFID)**. RFID-дың бұл түрі сіздің мысығыңызда да болуы ықтимал. RFID

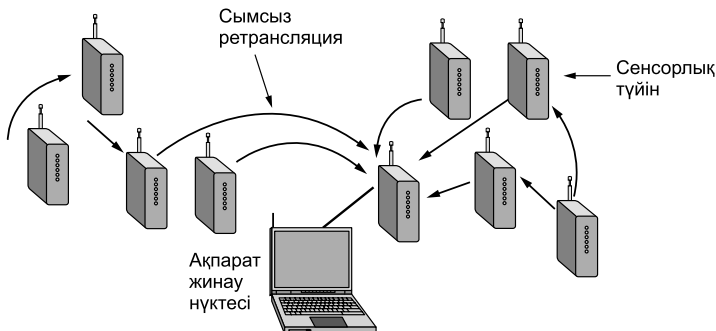
оқығыштары, оқу диапазоны аралығында бірнеше белгілермен қарым-қатынаста болуы керек. Бұл белгінің оқығыш табылғанда жай жауап бере алмайтындығын білдіреді, себебі бірнеше белгілер бір-біріне кедергі жасайды. Мәселенің шешімі 802.11 пайдаланылған шешімге ұқсас: жауап берер алдында белгі қысқа уақытқа үзіліс алады. Бұл оның оқығышқа сигналдарды бөлуге мүмкіндік береді.

Қауіпсіздік – тағы бір мәселе. RFID оқығыштарының объектіні, демек, оны пайдаланатын адамды жеңіл бақылауы жеке бас өміріне араласу дегенді білдіреді. Өкінішке орай, RFID-белгілері үшін ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз ету өте қиын, себебі есептеу мүмкіндіктері шектеулі. Сол себепті шартты белгітәрізді әлсіз шаралар қолданылады. Егер шекарадағы төл құжат бақылаусыздің төл құжатыңыздан ақпаратты қашықтықтан оқи алса, онда бұл белгінің сіздің келісіміңіз басқа адамдардың оқуына кім кедергі бола алады? Қайдам.

RFID белгілері идентификациялау чипі ретінде пайда болды да, тез арада күрделі компьютерге айналып барады. Мысалы, көптеген белгілердің объектімен қандай оқиғалардың болғандығын есте сақтап және оны тасымалдай алатын жадысы бар. Rieback және т.б. (2006), компьютердің программалық жабдықтамаларға қатысты мәселелерінің бұл аумақта да пайда болатындығын көрсетті. Мысалы, сіздің мысығыңыз немесе төл құжатыңыз RFID-вирустарды тарату үшін пайдаланылуы мүмкін.

RFID мүмкіндіктерінің келесі қадамы – **сенсорлық желі**. Сенсорлық желілер материалдық әлемнің барлық аспектіні бақылауға арналған. Осы уақытқа дейін ол тек ғылыми эксперименттер үшін, мысалы, құстардың, вулкан қозғалысының және зебрлер көш-қонын бақылауға пайдаланылды. Енді олар бизнес-қосымшалар, денсаулық сақтау, толқындарды бақылау құрылғылары және қатырылған, салқындатылған, басқа да жылдам бұзылатын тауарларға енгізілген.

Сенсорлық түйіндер – кілт брелогы көлеміндегі кішкене компьютер. Оларға ауа райы, діріл қадалауы және т.с.с. енгізілген. Әдетте, олардың өз энергия көздері бар. Олар күн энергиясын пайдаланады немесе толқындардан энергия ала алады. Бұл құрылғылар сыртқы ақпарат жинау нүктесіне деректер тасымалдау үшін энергия жеткілікті болуы керек. Түйіндердің өзара мәлімет тасымалдау үшін ұйымдастырылуының жалпы схемасы *1.34-суретте* көрсетілген. Мұндай схемалар ретрансляторлы желілер деп аталады.



1.34-сурет. Ретрансляторлы сенсорлық желі топологиясы

Болашақта RFID және сенсорлық желілердің кеңінен таралып, үлкен мүмкіндіктерге ие болуы ықтимал. Зертеушілер қазірдің өзінде екі технологияның ең жақсы қасиеттерін біріктіріп, сәуле, қозғалыс және т.б. қадағалары бар программаланушы RFID-белгілердің прототипін құрастырды (Sample және т.б., 2008).

1.6. ЖЕЛІЛЕРДІ СТАНДАРТТАУ

Дүниежүзінде көптен желі құрастырушылар бар. Олардың желінің түрлі функцияларын жүзе асыру әдістері жайлы өз көзқарастары бар. Бұл іс-шараларды үйлестірмесе, шиеленіскен жағдай туындап, тұтынушылар жұмыс жасай алмас еді. Хаоспен күресудің жалғыз жолы, белгілі бір сұрақтар бойынша желілік стандарттар негізінде келісімге келу. Стандарттар компьютерлердің қарым-қатынасын қамтамасыз етіп қоймай, стандартты қолдайтын тауарлар нарығын кеңейтеді. Бұл өз кезегінде, өзара үйлесімді аппараттардың кең көлемде шығарылуына, кеңмасштабты интеграциялануына, өндірістің арзандауына және осы нарыққа тұтынушылардың көптеп құйылуына әкеледі.

Бұл бөлімде біз өте маңызды, бірақ өте нашар зерттелген халықаралық стандарттар әлемін қарастырамыз. Алдымен халықаралық стандартқа не жататындығын талқылайық. Ақылды адам, стандарт, біз сапалы жүзеге асыра алу үшін, хаттамалардың қалай жұмыс жасайтындығын түсіндіреді деп ойлайды. Алайда, бұл дұрыс емес.

Стандарттар қарым-қатынасты жүзеге асыру үшін не қажет екендігін анықтайды: осыдан артық та емес, кем де емес. Бұл нарықтың дамуына және компаниялардың өз тауарларын жетілдіріп бәсекелесуіне мүмкіндік береді. Мысалы, 802.11 стандарты тасымалдау жылдамдығын белгілейді, алайда, қандай жағдайда жөнелтуші нақты жылдамдықты қолдану керек екендігін айтпайды. Бұл ақпарат жақсы жұмыстың өзекті сипаттамасы болып табылады. Бұл мәселені тауар жасаушы адам шешуі керек. Стандарт мүмкіндіктерінің көптігіне байланысты, жүзеге асыру түрлері де алуан түрлі, көбіне, бұл қарым-қатынасты қиындатады. 802.11 стандартымен байланысты қиындықтардың көп болуы стандарт стратегиясын қолдануға әкелді. 802.11 шеңберінде қарым-қатынасты міндеттеу үшін арнайы **WiFi Alliance** тобы құрастырылды.

Дәл осы сияқты хаттама стандарты сымды байланыс хаттамасын анықтайды, бірақ хаттаманы түсіндіретін нақты интерфейс сипаттамасын бермейді. Қолданыстағы интерфейстер көбіне, жекеменшік объектісі болып келеді. Мысалы, ТСР компьютердегі IP-мен әрекеттесетін тәсіл, қашықтықтағы түйінмен байланыс орнату үшін ешқандай әсер етпейді. Тек қашықтықтағы түйіннің ТСР/IP арқылы не айтатындығы маңызды. Іс жүзінде ТСР мен IP өзара қосымша интерфейссіз жұмыс жасайды. Бұл жақсы қызмет интерфейсі жақсы қосымшалар интерфейсі тәрізді, хаттамалар жұмысы үшін маңызды және өте жақсылары (Беркли сокеттері) танымал бола алады.

Стандарттар: **de facto** және **de jure** болып екі категорияға бөлінеді. **De facto**

стандарттары, ешбір алдын ала жоспарсыз, өздері орнатылды. Желі жұмыс жасайтын хаттама - HTTP – стандарт ретінде де-факто пайда болды. Ол алғашқы, CERN-де Тим Бернерс-Ли (Tim Berners-Lee) жасаған WWW-браузерлерден бас-талды. Bluetooth – тағы бір мысал – оны Ericsson фирмасы ойлап шығарды, қазір оны бәрі пайдаланады.

De jure стандарттары, керісінше, стандарттаудың формальды заңдылықтары бойынша қабылданған. Стандарттаудың Халықаралық ұйымдары әдетте: үкіметаралық келісім бойынша құрастырылғандар және еркін ұйымдар болып екі санатқа бөлінеді. Желілік компьютерлер стандарты аумағында, әр типтегі бірнеше ұйымдар бар, солардың ішіндегі танымалы ITU, ISO, IETF және IEEE. Біз оларды кейінірек қарастырамыз.

Стандарттар және компаниялар арасындағы қарым-қатынас тәжірибеде өте күрделі. Іс жүзінде танымал стандарттар жиі заңды стандартқа айналады. Дәл осы жағдай HTTP стандартымен болды, ол тез арада IETF қабылданды. Стандарттау комитеттері, технологиялар нарығының дамуын ынталандыру үшін, стандарттарды өзара бекітеді. Қазіргі кезде, қандай да бір технология төнерегінде құрылып, желілік стандарттардың дамуында және жетілдірілуінде үлкен рөл атқаратын, көптеген арнайы іскер ұйымдар бар. Мысал ретінде, телекоммуникациялық қауымдастықтарды біріктіріп, 3G UMTS ұялы байланыс стандарттарымен айналысатын **3GPP (Third Generation Partnership Project)** алуға болады.

1.6.1. Телекоммуникация әлемінде кімнің кім екендігі

Әлемде телефон компанияларының ресми статусы әр елде әртүрлі. Полюстың бір басында Америка Құрама Штаттары орналасқан, онда 2000 (көбіне кішігірім) жекеменшік телефон компаниялары бар. 1984 жылы AT&T бөлінгенше, ол осы нарық секторында толығымен басымдылық танытып, сол кездегі әлемдегі ең үлкен корпорация болды. Оның қызметін Америка абоненттерінің 80 пайызы пайдаланды. 1996 жылғы телекоммуникация жайлы заң бәсекелестік болу үшін реттеуді қайта құрастырды.

Полюстың екінші басында пошта, телеграф, телефон, кейде радио және теледидар, байланыстың барлық түріне үкімет толық монополия жүргізетін елдер орналасқан. Бұл категорияға әлемнің үлкен бір бөлігі жатады. Кейбір жағдайда байланыс құралдарының иесі ретінде ұлттық компаниялар, басқа жағдайда үкіметтің, Байланыс министрлігі немесе **РТТ (Postal Telegraph and Telephone Administration – пошта-телеграфтық және телефон байланыстарын басқару)** деп аталатын ерекше бір бөлігі иелік етеді. Көптеген Еуропа елдері бұл саланы тәуелсіз меншік иелеріне өткізіп берді, бірақ кей елдерде бұл үрдіс тым баяу жүруде.

Қызмет көрсетушілердің мұндай алуан түрлілігі, бүкіл дүниежүзінде үйлесімділікті қамтамасыз етуді қажет етеді. Үйлесімділік, әртүрлі елдер тұтынушыларына (компьютерге) бір-бірімен байланысуға берілген кепілдік.

Іс жүзінде бұл қажеттілік ертеректе туындаған еді. 1865 жылы көптеген Еуропа мемлекеттерінің өкілдері жиналып, қазіргі Халықаралық телекоммуникация одағының – **ITU (International Telecommunications Union)** негізін қалаушы болған одақты құрастыру үшін жиналды. Бұл одақтың негізгі міндеті халықаралық байланыс құралдарын стандарттау болды. Ол кезде телеграфтан басқа стандарттайтын еш нәрсе жоқ еді. Алайда, сол кездің өзінде, егер елдің жарты бөлігі Морзе әліпбиін, ал қалған жартысы басқа кодты қолданатын болса, қиыншылықтар туындайтыны белгілі еді. Халықаралық телефон байланысы пайда болысымен ITU телефон саласындағы стандарттарды құрастырумен айналысты. 1947 жылы халықаралық телекоммуникация одағы Біріккен Ұлттар Ұйымы қатарына енді.

ITU құрамына БҰҰ-ның барлық ұйымдарымен бірге алғанда 200-ден астам түрлі мекемелер кіреді. АҚШ-та РТТ жоқ, алайда, кімде-кім үкімет құрылымының өкілеті болуы тиіс. Бұл рөлді Мемлекеттік департамент атқарады. Ол Мемлекеттік департаменттің қызмет бабымен байланысты, ITU-дың басқа мемлекеттермен әрекеттесу сұрақтарын шешуде атсалысады. ITU құрамына шамамен, 700-ден астам сәйкес өнеркәсіп секторындағы өкілеттіліктер және қауымдастық мүшелері кіреді. Олардың арасында телефон компаниялары (мысалы, AT&T, Vodafone, Sprint), телекоммуникация аппараттарын шығарушылар (мысалы, Cisco, Nokia, Nortel), компьютер шығарушылар (мысалы, Microsoft, Agilent, Toshiba), микросхема шығарушылар (мысалы, Intel, Motorola, TI) және тағы басқа қызығушылық танытқан компаниялар (мысалы, Boeing, CBS, VerySign) кіреді.

ITU-дің негізгі үш секторы бар. Біз ең алдымен, **ITU-T** стандарттаудың телекоммуникациялық секторына, деректерді тасымалдау және телефония жүйесіне тоқталамыз. 1993 жылғы дейін бұл сектор оның француз тіліндегі атауының акронимі Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique байланысты ССИТТ деп аталды. **ITU-R** радиобайланыс секторы, бүкіләлемдегі радиожииліктерді пайдалануға қызығушылық танытатын, бәсекелес топтарды біріктірумен айналысады. Келесі – **ITU-D** – даму секторы. Бұл сектор ақпараттық технологияларғы тиімді қолжеткізу және шектеулі қолжеткізу мүмкіндіктері бар елдер арасындағы «сандық алшақтықты» азайту мақсатында, ақпараттық-телекоммуникациялық технологиялардың дамуына себепкер болады.

ITU-T мақсаты – телефония, телеграф және деректерді тасымалдау интерфейстері аумағында техникалық ұсыныстар құрастыру. ITU-T техникалық шешімдері тек ұсыныс, оны кез келген елдің үкіметі қабылдап немесе есепке алмауы мүмкін. Алайда тек ұсыныс болғанымен олар көбіне халықаралық стандартқа айналады (Себебі үкімет 13 жасар жеткіншек тәрізді, біреудің өзіне бұйрық айтқанын қаламайды. Сондықтан тек ұсыныс берген дұрыс). Тәжірибеде әр елдің, басқалардан өзгеше өз телефон стандартын қабылдауына ешкім шек қоя алмайды. Алайда, мұндай шешім қабылдаған ел өзін бүкіл әлемнен шектетеді. Мүмкін, осындай көзқарас Солтүстік Кореяда жұмыс жасайды, бірақ қалған әлемде бұл нағыз мәселе болады.

ITU-T жұмысы зерттеу топтарымен (Study Groups) жүргізіледі. Топтардың құрамы 400 адамға дейін жетеді. Қазіргі кезде, әртүрлі мәселелермен шұғылданатын,

телефон қызметтері үшін төлем ақы концепциясынан бастап, мультимедиа және қауіпсіздік мәселесі, 10 топ жұмыс жасайды. Мысалы, SG 15 тобы Интернетпен байланысу үшін жиі қолданылатын, DSL стандартымен айналысады. Қандай да бір жұмысты жасау мүмкін болу үшін зерттеу топтары жұмысша топқа (Working Parties) бөлінеді. Жұмысшы топтар өз кезегінде, топтардан тұратын сарапшы командаларға (Expert Teams) бөлінеді. Бюракратия мұнда да бюракратия болып қалады.

Қиыншылықтарғы қарамастан ITU-T өз жұмысын орындауда. Бұл ұйымның ағымдағы шығысы 3000-нан астам ұсыныстар, олардың көбі тәжірибеде жүзеге асуда. Мысалы, H.264 ұсынысы (сонымен бірге, Халықаралық стандарттау ұйымының MPEG-4 AVC атымен белгілі стандарты) бейнені тығыздау үшін кеңінен қолданылады, ал X.509 ашық кілттер сертификаты веб-парақтарды және электронды поштаның сандық қолын қауіпсіз қарау үшін пайдаланылады.

80 жылдары басталған, телекоммуникациялардың ұлттық жүйеден ауқымды жүйеге ауысуы аяқталуына қарай, стандарттар олардың дамуының негізгі аспектісіне айналды, көптеген ұйымдар стандарт құрастыру ісіне қатысуға ниет білдіре бастады. ITU жайлы қосымша ақпаратты Inner, 1994 еңбегінен қараңыз.

1.6.2. Халықаралық стандарттар әлемінде кімнің кім екендігі

1946 жылы құрылған Халықаралық стандарттарды **ISO (International Standards Organization - Халықаралық стандарттар ұйымы)** еркін ұйымы құрастырады. Бұл ұйымға 89 елдің стандарттау жөніндегі ұлттық ұйымдары кіреді. Оның мүшелері қатарында ANSI (АҚШ), BSI (Ұлыбритания), AFNOR (Франция), DIN (Германия) және тағы 153 ұйым бар.

ISO кең ауқымды қамтитын, болт пен гайкадан бастап, телефон бағаналарын бояу [какао дақылдары (ISO 2451), балық аулау торлары (ISO 1530), әйелдер іш киімі (ISO 4416) стандарттары және т.б. ISO стандарты жасалмаған зат жоқтың қасы.] сұрақтарын стандарттаумен айналысады. Екі ресми және өзара үйлесімсіз стандарттар парадоксын болдырмас үшін, телекоммуникациялық стандарттар мәселелері бойынша Халықаралық стандарттау ұйымы ISO және ITU-T жиі бірлесіп жұмыс жасайды (ISO, ITU-T мүшесі).

Қазіргі кезде, ISO стандарттарын қосқанда 17 000 стандарт шығарылды. ISO-ға 200-ден аса техникалық комитеттер (Technical Committee, TC) кіреді. Олар құрылу ретіне сай нөмірленіп, әрқайсысы жеке өз сұрақтарымен, мысалы, TC1 болттар және гайкалармен (диаметр және қима қадамын стандарттау) айналысады. JTC1 ақпараттық технологиялар: желілер, компьютерлер және программалық жабдықтамалармен жұмыс жасайды. 1987 жылы TC97 IEC іс-әрекетімен біріккен, алғашқы (осы уақытқа дейін жалғыз) Біріккен техникалық комитет – тағы бір стандарттау субъекті.

Әр техникалық комитет ішкі комитеттерге (subcommittee, SC) бөлінеді. Олар өз кезегінде жұмысшы топтардан (working group, WG) тұрады.

Негізгі жұмыстар, құрамына бүкіл әлем бойынша 100 000 еріктілер кіретін, жұмысшы топтармен жасалады. «Еріктілердің» көбі, тауарлары стандартталатын компанияларда жалдау бойынша жұмыс жасайды. Басқалары – өз ұлттық стандарттарын халықаралық деңгейге шығарғысы келетін мемлекет қызметкерлері. Эксперт ғалымдар да көптеген жұмысшы топтарға белсене қатысады.

Стандартты Халықаралық стандарттау ұйымы қабылдау үшін, ISO көп дауыспен өткен стандартты қабылдау процедурасын құрастырған. Үрдіс, қандай да бір ұлттық стандарттау ұйымы, белгілі бір аумақта халықаралық стандарттың пайда болу қажеттілігі сезген кезде басталады. Сол кезе, **Committee Draft, CD** – алдын ала жоспарды жасақтайтын жұмысшы тобы құрылады. Бұл жоспар техникалық комитеттің басқа мүшелеріне таратылады. Жобаны сынауға алты ай беріледі. Егер жоба көпшілік дауысқа ие болса, онда редакцияланған құжат алғашқы жазылған халықаралық стандарт – **DIS (Draft International Standard)** атына ие болады. Бұдан кейін жоба тағы да әртүрлі топтарға жіберіледі, олар оған өз дауыстарын беріп, түсініктемелермен қамтамасыз етеді. Осының негізінде, құжаттың соңғы нұсқасы дайындалып, бекітіледі де, ол **халықаралық стандарт – IS (International Standard)** деген атпен жарияланады. Кейбір жағдайда, қажет дауыс санын жинау үшін, CD немесе DIS алғашқы жазылған нұсқаларына көптеген өзгерістермен дауыс беруден өту керек болады. Бұл үрдіс бірнеше жылға созылуы мүмкін.

АҚШ Ұлттық стандарттар және технологиялар институты - NIST (National Institute of Standards and Technology) АҚШ Сауда министрлігінің бір бөлігі (U.S.Dept. of Commerce) болып табылады. Бұрын ол **Ұлттық стандарттар бюросы (National Bureau of Standards)** деп аталған. Ол АҚШ үкіметі жүргізетін сатып алулар үшін, стандарттар шығарады, тек Қорғаныс министрлігі өз стандарттарын өзі анықтайды.

Стандарттау өрісіндегі негізгі ойыншының бірі, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers - электротехника және электроника инженерлер институты) – әлемдегі ірі кәсіби ұйым. Журналдар мен түрлі конференциялар ұйымдастырудан басқа, IEEE электротехника және электроника саласында стандарттар шығарады. Мысалы, IEEE 802 комитеті жергілікті компьютерлер желісі аумағында бірнеше кілтті стандарттар шығарды. Олардың кейбіреуін біз осы кітапта қарастырамыз. Нақты жұмыс, әдетте, *1.4-кестеде* берілген жұмысшы топтар арасында жүргізіледі. 802 комитетінің жұмысшы топтары ешқашан алдыңғы қатарлы болған емес. 802.x нөмірі еш уақытта жетістік кепілі болған емес. Алайда, стандарттардың (әсіресе, 802.3 және 802.11) өнеркәсіпте және әлемде әп сәтте танымал болуы, жағдайды өзгертті.

Жаһандық Интернет желісінің, ITU-T және ISO ерекше, өз стандарттар механизмі бар. Екі сөзбен айтқанда, ITU-T және ISO қызметкерлері іскер костюм кесе, Интернет стандарттарын көбіне джинсы киген (Сан-Диегода жұмыс жасайтындыры шорты мен қысқа жеңді футболка киеді) адамдар құрастырады.

1.4-кесте

802 комитетінің жұмысшы топтары. Ең маңыздылары жұлдызшамен () белгіленген. Төменгі бағыттауыш сызықпен (↓) белгіленгені жұмыс жасамайды. Крестпен (†) белгіленгені қажет болмағандықтан өз-өзін жойды*

Нөмір	Құрастырылым тақырыбы
802.1	Жалпы түсініктер және ЖЕЖ архитектурасы
802.2 ↓	Логикалық арнадарды басқару
802.3 *	Ethernet
802.4 ↓	Маркерлік шина (біркезде өндірістік желілерде қолданылған)
802.5	Маркерлік сақина (ЖЕЖ технологияларына IBM фирмасының қосқан үлесі)
802.6 ↓	Қосақталған екі бағыттағы шина (ертедегі аймақтық желілер)
802.7 ↓	Кеңжолақтық технологиялар бойынша техникалық кеңес тобы
802.8 †	Оптоталшықты технологиялар бойынша техникалық кеңес тобы
802.9 ↓	Изохронды ЖЕЖ (нақты уақытты қосымшалар үшін)
802.10 ↓	Виртуалды ЖЕЖ және ақпаратты қорғау
802.11 *	Сымсыз ЖЕЖ
802.12 ↓	Сұраныстар приоритеті (Hewlett-Packerd фирмасының AnyLAN үшін)
802.13	Бақытты нөмір. Бірақ оны ешкім таңдамады.
802.14 ↓	Кабельдік модемдер (жұмысшы топ таратылды: кабельдік модемдер саласында оны өнеркәсіптік консорциумдар анықтады)
802.15 *	Дербес желілер (Bluetooth)
802.16 *	Кеңжолақты сымсыз ЖЕЖ
802.17	Дестелік сақинаның иілгіш технологиясы
802.18	Радиореттеу
802.19	Желілердің қатар өмір сүруі
802.20	Ұялы кеңтаратылымды сымсыз қолжеткізу (802.16е түрі)
802.21	Деректер тасымалдау ортасына байланыссыз ауысу (технологиялар арасында ауысу)
802.22	Аймақтық сымсыз желілер

1.6.3. Интернет стандарттары әлемінде кімнің кім екендігі

ITU-T және ISO мәжілістеріне корпорациялар администраторлары және мемлекеттік, азаматтық қызметшілер жиналады. Олар стандарттау өте қажет нәрсе деп санайды және өз өмірлерін осыған арнайды. Ал адамдар үшін Интернет, керісінше, анархия. Алайда, жүздеген миллион адамдар қалай да бір ортақ жұмыс

жасағанда, жұмыс алға басу үшін оларға өзара келісімге келуге тура келеді. Стандарт еріксіз қажет нәрсе. Дэвид Кларк (David Clark) бірде Интернетті стандарттау жайлы, қазіргі кезде танымал болған «дөрекі келісім мен жұмыс жасайтын программалардан» тұратын ескерту айтты.

ARPANET желісі іске қосылған кезде, АҚШ Қорғаныс министрлігі желіні бақылайтын бейресми комитет құрды. 1983 жылы комитет **Интернет қызметі жөніндегі Кеңес (Internet Activities Board, IAB)** деген атқа ие болды. Кеңес алдында біршама кеңейтілген есептер тұрды, нақтырақ: ARPANET және Интернет жобаларында жұмыс жасайтын зерттеушілерді ешқайда жібермей, бір бағытта ұстау керек болды. Қысқартылған IAB атауы кейіннен **Интернет архитектурасы бойынша Кеңес (Internet Architecture Board)** деген атқа өзгертілді.

IAB-дің шамамен алғанда әр оныншы мүшесі жеке маңызды сұрақтар бойынша арнайы комиссияларды басқарды. Интернет архитектурасы бойынша Кеңес жылына бірнеше рет жиналып, жасалған жұмыстар нәтижесін талқылап, Қорғаныс министрлігі және осы саладағы қаржыландыруды іске асыртын NSF-ке есеп береді. Қандай да бір стандарт қажет болған кезде (мысалы, маршруттаудың жаңа алгоритмі), кеңес мүшелері бұл сұрақпен жұмыс жасап, өзгерістер жайлы желінің программалық жабдықтамаларын құрастыратын аспиранттарға хабарлап отырады. Стандарттар **RFC (Requests for Comments)** деп аталатын техникалық есептер жиынтығы ретінде рәсімделді. RFC Интернет кез келген адамға қолжеткізімді (www.ietf.org/rfc). Олар жасалған хронологиялық ретпен нөмірленген. Қазіргі кезде шамамен, 5000 құжат бар. Олардың көбіне, біз осы кітапта сілтеме жасаймыз.

1989 жылға дейін Интернеттің дамығаны соншалық, оның стандарттары бойынша бейресми тіл табысу мүмкін болмады. Осы уақытта көптеген өндірушілер TCP/IP хаттамасы негізіндегі өнімдерді ұсынды және оны оншақты зерттеушілердің ойына жақсы ой келді екен деп өзгерткілері келмеді. 1989 жылдың жазында IAB қайта ұйымдастырылды. Зерттеушілер, IAB бағынышты **Интернетті зерттеу тобына (Internet Research Task Force, IRTF)** және **Интернетті жобалау топтарына (Internet Engineering Task Force, IETF)** ауыстырылды. IAB кеңесінде, зерттеушілер бірлестігіне қарағанда ұйымдардың кең спекторының мүддесіне өкілдік ететін адамдар пайда болды. Алғашқыда бұл екі жыл бірлесіп жұмыс жасаған топ мүшелері еді, кейіннен олар өз ізбасарларын тағайындады. Біраз уақыттан кейін, Интернетке қызығушылық танытқан адамдардан құралған **Интернет қоғамы (Internet Society)** құрылды. Сонымен, Интернет-қауымдастығы Есептеу техникасы қауымдастығы (ACM, Association for Computing Machinery) немесе IEEE іспеттес. Ол, IAB құрамы бекітетін, сайланатын өкілдермен басқарылады.

Мұндай бөлу идеясы – IRTF ұзақ мерзімді зерттеулерді, ал IETF қысқа мерзімді инженерлік сұрақтарды шоғырландыру. IETF мәселерін қарастыратын топтар, әрқайсысы өз сұрақтарын шешетін жұмысшы топтарға бөлінген. Алғашқыда жұмысшы топ төрағалары бірлескен зерттеу күшін үйлестіру үшін, бір-бірімен комитет басшылары құрамында кездесетін. Жұмысшы топтар жаңа қосымшалар, тұтынушыларға арналған ақпарат, OSI-біріктіру, маршруттау және адрестеу, қауіпсіздік, желіні басқару және стандарттар сұрақтарымен айналысты. Соңында,

өте көп (70-тен аса) жұмысшы топтары құрылып, оларды аумақтар бойынша біріктіріп, басқарушы комитетке аумақтар төрағалары жиналатын болды.

Сонымен бірге, ISO-дағыдай формальды стандарттау түрі қабылданды. Ұсынылатын стандарт болу үшін, негізгі идея толығымен RFC-те жазылып, қарауға кепілдік беретіндей қызықты болуы тиіс. Кейіннен **стандарт жобасы** болу үшін, жұмысшы нұсқа жасалып, ол төрт ай бойы, кем дегенде, екі тәуелсіз сайтта тестіленуі тиіс. Егер IAB идеяның дұрыс және программалық жабдықтаманың жұмыс жасайтынына сенімді болса, онда ол RFC-ті Интернет стандарты деп жариялайды. Интернеттің кейбір стандарттары АҚШ Қорғаныс министрлігінің стандарттарына (MIL-STD) айналды, бұл осы стандарттарды министрлік жеткізушілері міндетті түрде қолданулары керек.

Желінің ұзақ уақытты өсуін қамтамасыз ету үшін, **World Wide Web (W3C)** консорциумы хаттамалар мен веб-стандарттарға арналған бағыттауыш тораптарды дамытумен айналысады. Бұл – Тим Бернерс-Ли басқаратын өндірістік консорциум. Ол 1994 жылы Web қарқынды дами бастаған кезде құрылды. Қазір W3C бүкіл әлем бойынша 300-ден аса қатысушысы бар және стандарт деп аталатын 100-ден аса W3C ұсыныстары бар. Олар көбіне, HTML және веб-қауіпсіздік тақырыптарын қамтиды.

1.7. ӨЛШЕМ БІРЛІКТЕРІ

Түсініспеушіліктер болмас үшін өлшем бірліктері жайлы пайымдаулардың алдын алу керек. Дәстүрлі ағылшын жүйесінде есептеу техникасында ондық өлшем жүйесін артық көреді. Қолданыстанғы негізгі перфикстер *1.5-кестеде* келтірілген. Әдетте, олар атаулардың алғашқы әрпімен қысқартылады және егер префикстің 1-ден үлкен салмағы бар болса, онда ол үлкен әріппен жазылады (Кб, Мб және т.с.с.). Тарихи қалыптасқан жалғыз ерекшелік Кбит/с. Сонымен, 1Мбит/с жылдамдықпен жұмыс жасайтын торап, секундына 10^6 бит тасымалдайды, ал 100 пс таймер өз қалып-күйін әр 10^{-10} секундты үлесінде өзгертеді. «Мили» және «микро» сөздері бір әріптен басталатын болғандықтан, «мили» – «м», «микро»–«мк» немесе гректің μ әрпімен белгілеу қабылданған.

Сонымен бірге, жады көлемін, дискілер көлемін, файл мөлшерін және деректер қорын өлшеу үшін қолданылатын өлшем бірліктер басқа салаларда қолданылатын өлшем бірліктерден біршама өзгеше екендігін ескерте кеткен жөн. Мысалы, «кило» $1000 (10^3)$ емес, есептеу техникасы тұжырымдамасына сәйкес $1024 (2^{10})$ дегенді білдіреді. Жады мөлшері әр уақытта екінің дәрежелерін білдіреді. Сонымен, 1 Кб-та 1000 байт емес 1024 байт бар. Сол сияқты үлкен Б әрпі байтты (8 биттен тұратын аумақ) белгілеу үшін, кіші б әрпі «бит» белгілеу үшін қолданылады. Осыған сәйкес 1Мб-те 2^{20} , демек $1\ 048\ 576$ байт, ал 1 Гб-те сәйкесінше – 2^{30} ($1\ 073\ 741\ 824$) байт бар. Деректер қорында 1 Тб-та 2^{40} ($1\ 099\ 511\ 627\ 776$) байт бар. Дегенмен де, 1 Кбит/с жылдамдықпен жұмыс жасайтын торап 1000 бит/с тасымалдайды, ал 10 Мбит/с жұмыс жасайтын ЖЕЖ $10\ 000\ 000$ бит/с тасымалдай ала-

ды – жылдамдық екінің дәрежесімен өлшенбейді. Өкінішке орай бұл екі жүйені көбі шатыстырады, әсіресе диск көлемін есептегенде. Шатыпас үшін тағы бір қайталайық, біздің кітапта Кб, Мб, Гб және Тб сәйкесінше 2^{10} , 2^{20} , 2^{30} және 2^{40} байт дегенді білдіреді. Сонымен бірге, біз «б» әрпімен байтты белгілейміз, ал «бит» сол қалпында «бит» болып қалады. Сондықтан Кбит/с, Мбит/с, Гбит/с және Тбит/с символдары сәйкесінше, секундына 10^3 , 10^6 , 10^9 және 10^{12} бит дегенді білдіреді.

1.5-кесте

Метрлік жүйенің негізгі префикстері

Дәреже	Нақты түрде	Перфикс
10^{-3}	0,001	Милли
10^{-6}	0,000001	Микро
10^{-9}	0,000000001	Нано
10^{-12}	0,000000000001	Пико
10^{-15}	0,000000000000001	Фемто
10^{-18}	0,000000000000000001	Атто
10^{-21}	0,000000000000000000001	Цепто
10^{-24}	0,000000000000000000000001	Йокто
10^3	1 000	Кило
10^6	1 000 000	Мега
10^9	1 000 000 000	Гига
10^{12}	1 000 000 000 000	Тера
10^{15}	1 000 000 000 000 000	Пета
10^{18}	1 000 000 000 000 000 000	Экса
10^{21}	1 000 000 000 000 000 000 000	Цетта
10^{24}	1 000 000 000 000 000 000 000 000	Йотта

1.8. КЕЛЕСІ ТАРАУЛАРДЫҢ ҚЫСҚАША МАЗМҰНЫ

Бұл кітапта компьютерлік желі құрастырудың теориялық та, практикалық та мәселелері қарастырылады. Көптеген тараулар негізгі қағидаларды талқылаумен басталып, осы қағиданы суреттейтін мысалдармен қамтылған. Кітаптың өне бойында мысал ретінде қолданыстағы Интернет және ұялы телефон байланысы тәрізді сымсыз желі мәселелері зерттеледі. Бұл желілер өте маңызды және өзекті, сонымен бірге, олар әртүрлі. Қажет болған жерде басқа да мысалдар келтіріледі.

Кітап құрылымы *1.20-суретте* бейнеленген аралас моделге сәйкес. Екінші тараудан бастап біз хаттамалар бағыныштыларын ең төменгі деңгейінен бастап қарастырамыз. Біз сымды және сымсыз желілер үшін, деректер алмасу аумағындағы негізгі ережелерге тоқталамыз. Бұл физикалық деңгейдегі ақпарат

алмасу материалдарына жатады, бірақ біз аппараттық емес құрылымдық аспектіні қарастырамыз. Сонымен бірге, жалпы қолданыстағы коммутациялық телефон желісі, ұялы телефон және кабелді теледиар желісі тәрізді, физикалық деңгейдің бірнеше мысалдары талқыланады.

3 және 4-тараулар арна деңгейінің байланысын екі бөлімге бөліп қарастырады. 3-тарауда дестелі арна арқылы, қателіктерін тауып, түзетіп жөнелту мәселелері талқыланады. Арна хаттамасының нақты мысалы ретінде біз DSL (телефон сымдары арқылы кеңжолақтық Интернетке қолжеткізу) қарастырамыз.

4-тарауда қолжеткізудің ортаншы ішкі деңгейіне тоқталамыз. Бұл – бірнеше компьютерлер арасында арнаны бөліп қолдануды реттейтін байланыс арнасы деңгейінің бір бөлігі. Мысалдар, 802.11, RFID сымсыз желілерін және классикалық Ethernet ЖЕЖ қамтиды. Мұнда біз, коммутациялық Ethernet тәрізді ЖЕЖ біріктіретін, арна деңгейінің коммутаторларын да талқылаймыз.

5-тарауда желілік деңгей, соның ішінде маршруттау сипатталады. Маршруттаудың статистикалық және динамикалық алгоритмдері талқыланады. Ең жақсы алгоритмнің өзі де білгілі бір деңгейде жүктелген желіге есептелініп жазылады. Желі деңгейден асыра жүктелген кезде кептелістер туып, дестелер бөгеліп немесе жоғалып кетуі мүмкін. Біз кептелістерді болдырмау және қажет қызмет көрсету деңгейін қамтамасыз етуді талқылаймыз. Сонымен бірге, әртекті желілерді байланыстырғанда туындайтын мәселелерге тоқталамыз. Интернетке қатысты желілік деңгейге аса қатты көңіл бөлеміз.

6-тарау транспорттық деңгейге арналған. Байланыстыру, сенімділікті қамтамасыз ету хаттамаларына ерекше көңіл бөлеміз, себебі бұлар көптеген қосымшаларға қажет. Интернеттің транспорттық хаттамалары – TCP және UDP – егжей-тегжейлі сипатталған. Сонымен бірге оларды тиімділігі жайлы да сөз болады.

7-тарауда қолданбалы деңгей және оның хаттамалары мен қосымшалары сипатталған. Алдымен қарастыратынымыз, DNS қызметі, телефон кітабының интернет баламасы. Сонан кейін электронды пошта және ол пайдаланатын хаттамалар жайлы сөз болады. Әрі қарай веб-технологияларға көшеміз. Оларға арналған тарауларда парақтардың статистикалық және динамикалық мазмұны егжей-тегжейлі талқыланады, олардың клиент және сервер бөлігінде не болып жатқанын қарастырамыз. Бұдан кейін желідегі мультимедиа, дыбыс ағыны, интернет-радио және бейнемен бірге қарастырылады. Соңында, біз контенттерді жеткізу желісін біррангілік желілер технологиясымен бірге оқитын боламыз.

8-тарау ақпаратты қорғау сұрақтарына арналған. Бұл тақырыпта барлық деңгейлерге қатысты аспектілер бар, сол себепті кітап осы тараумен аяқталады. Тарау криптография негіздерін түсіндірумен басталады. Содан кейін қауіпсіз байланыстарды орнату, электронды пошта және веб-парақтарды қорғау үшін криптографияны қолдану мысалдары келтіріледі. Тарау жеке бас өмірінде ақпаратты қорғау мәселелерін қарастырумен аяқталады. Әңгіме, сөз еркіндігі, цензура және басқа да өзекті әлеуметтік мәселелер жайлы болады.

9-тарауда ұсынылатын әдебиеттер бойынша андатпалар келтірілген. Ол та-

раулар бойынша ұйымдастырылған. Мақсат – желі жайлы оқуды жалғастырушы оқырманға көмектесу. Тарауда кітап мәтінінде сілтеме жасалған әдебиеттердің әліпби бойынша тізімі де келтірілген.

Автордың Pearson-дағы сайты:

<http://www.pearsonhighered.com/tanenbaum>

түрлі өздігінен үйренушілерге сілтемелер, жиі қойылатын сұрақтарға жауап, сонымен бірге компаниялар және өндірістік консорциумдар, кәсіби ұйымдар, стандарттау комитеттері, технологиялар, құжаттар және т.б. сілтемелер бар.

1.9. ТҮЙІН

Компьютерлік желілерді қолданудың: компаниялар, жеке адамдар үшін, қозғалыста және тұрақты қолдану сияқты көтерген нұсқалары бар. Компаниялар компьютерлік желіні корпоративтік ақпаратпен бөлісу үшін қолданады. Әдетте, олар клиент-серверлік модельді пайдаланады, қызметкерлер компьютері клиент ретінде машиналық бөлмедегі қуатты серверге жалғанған. Жеке тұлғалар үшін желі көптеген ақпаратқа, ойын-сауық ресурстарына қол жеткізуге мүмкіндік береді. Сонымен бірге бұл – тауарлар мен қызмет түрлерін сату және сатып алу мүмкіндіктері. Интернетке сымсыз қол жеткізу үшін ноутбуктер мен телефондар кеңінен таралып келе жатса да, адамдар, үйде Интернетке көбіне өз телефоны немесе кабельдік провайдерлер арқылы қол жеткізеді. Технологиялық жетілдіру, аспаптарға және басқада тұтынушы құралдарына кіріктірілген, ұялы қосымшалар мен компьютерлік желілердің көптеген түрлерінен тұрады. Сол себепті жетілдіру, жеке бас өмірінің мәселесі тәрізді, әлеуметтік сұрақтарды көтереді.

Бір сөзбен айтқанда, желілер: жергілікті, аймақтық, ауқымды және біріктірілген деп бірнеше топтарға бөлінеді. Жергілікті желі әдетте, бір ғимаратты қамтиды және өте жоғары жылдамдықпен жұмыс жасайды. Аймақтық желі бір қала аумағын қамтиды, мысал ретінде соңғы кезде Интернетке қол жеткізу үшін қолданылатын кабельдік теледидарды қарастыруға болады. Ауқымды желі бір елді немесе континентті қамтыды. Осы желілерді құрастыру үшін қолданылатын технологиялардың кейбіреуі екінүктелік (мысалы, кабель), басқасы – кеңтаратылымды (мысалы, сымсыз) болып келеді. Желілер, біріктірілген желі құрастыру үшін, маршрутизаторлармен байланыста болуы мүмкін. Біріккен желілердің ең үлкені және ең танымалы – Интернет. Сымсыз желілер, мысалы, 802.11 ЖЕЖ және 3G ұялы телефония. Бұларда соңғы кезде өте танымал болып келе жатыр.

Желілік программалық жабдықтамалар, үрдістер ақпарат алмасатын хаттамалар немесе ережелер төңрегінде құрастырылады. Желілердің көптеген бөлігі, әр деңгейдің өзінен жоғары деңгейге көрсететін қызмет түрлерін, хаттамалар бағыныштысатысын қолдайды. Хаттамалар стегі әдетте, OSI моделіне немесе TCP/IP моделіне негізделген. Екі моделде де арналық, желілік, транспорттық және қолданбалы деңгейлер бар, бірақ олардың басқа деңгейлерінде өзгешеліктер бар.

Құрастыру мәселелері: арналарды тығыздау, тасымалдауды басқару, қателіктерді анықтау және т.б. сұрақтардан тұрады. Жобалау: сенімділік, ресурстарды бөлу, өсу, қауіпсіздік және т.б. мәселелерді қамтиды. Кітапта хаттамаларға және оларды жобалауға аса көңіл бөлінген.

Сонымен, желілер тұтынушыларға түрлі қызмет түрлерін ұсынады. Бұл қызмет түрлері ең төмен приоритетті байланыссыз жеткізуден, кепілді байланыс арқылы жеткізу аралықтарында өзгеріп отырады. Кейбір желілердің бір деңгейінде осы принциптер біріншісі, ал кейбірінде (төменгілерінде) – екіншісі.

Жақсы таныс желілер түріне Интернет, үшінші буынның ұялы телефон желілері және 802.11 стандартындағы желілер жатады. Интернет, ARPANET-ке басқа желілерді қосу тарқылы өсіп шықты. Сонымен Интернет біріктірілген желі Желілердің желісі болып саналады. Ол TCP/IP хаттамалар стегін пайдаланады және бүгінгі күнде олардың саны мыңдап өлшенеді. 3G ұялы байланыс желісі Интернетке, секундына бірнеше мегабит жылдамдықпен, сымсыз және ұялы қолжеткізуді, әрине дыбыстық шақырылымдарды тасымалдауды қамтамасыз етеді. Сымсыз ЖЕЖ IEEE 802.11 стандарттарына негізделген, көптеген тұрғын үйлер және кафелерде етек алып, 100Мбит/с жылдамдықты қамтамасыз етеді. Кіріктірілген сенсорлық желі және RFID технологиясы тәрізді желілердің жаңа түрлері де пайда бола бастады.

Миллиондаған компьютерлер өзара байланысу үшін аппараттық та, программалық та стандарттар қажет. Олар ITU-T, ISO, IEEE және IAB ұйымдарымен құрастырылады. Олардың әрқайсысы өз саласында жұмыс жасайды және барлығы бірлесіп компьютерлік желілерді стандарттау үрдісін жүзеге асырады.

СҰРАҚТАР

1. Сіз өз итіңіз, сенбернар Берниді, сізге 8 мм ленталары бар үш қорапты, бір бөтелке брендимен бірге әкелуді үйреттіңіз делік (Себебі сіз біраз уақыттан бері қатқыл дисктегі орынның бітіп бара жатқандығын трагедия ретінде қабылдайтын болдыңыз). Әр лентаға 7 Гб ақпарат сияды. Сіз қайда жүрсеңіз де, ит 18 км/сағ. жылдамдықпен жүгіруге үйретілген. Қандай арақашықтықта иттің ақпарат тасымалдау жылдамдығы, 150 Мбит/с жылдамдықпен жұмыс жасайтын тораптан жоғары болады? Сіздің жауабыңыз қалай өзгерер еді: егер а) Бернидің жылдамдығы екі есе өссе; ә) әр лентаның сиымдылығы екі есе өссе; б) торап бойынша деректер тасымалдау жылдамдығы екі есе өссе.
2. Жергілікті желі баламасы, бұл – әр тұтынушыға терминалды белгілі бір уақытқа бөліп беретін жүйе. Жергілікті желіні қолданатын клиент-серверлік жүйенің екі артықшылығын атап көрсетіңіз.
3. «Клиент-сервер» жүйесінің өнімділігіне желінің екі параметрі: өткізгіштік мүмкіндігі (секундына неше бит тасымалдай алады) және күту уақыты (бірінші битті клиенттен серверге жеткізгенше неше секунд қажет) қатты әсер етеді. Жоғары өткізгіштік мүмкіндік және күту уақыты үлкен; төмен өткізгіштік мүмкіндікке және күту уақыты аз желіге мысал келтіріңіз.

4. Сапалы қызмет көрсету үшін желінің өткізгіштік мүмкіндігі мен күту уақытынан басқа қандай сипаттамаларын оңтайландыру қажет: а) сөздерді сандық форматта тасымалдау желілерін; ә) бейне тасымалдауды; б) қаржы транзакцияларын тасымалдауды?
5. Дестелерді коммутациялау және аралық сақтау желілерінде күту уақытына әсер ететін факторлардың бірі – дестелерді сақтау және қайта адрестеуге жұмсалатын кідіріс уақыты. Егер коммутациялау уақыты 10 мкс-ты құраса, онда клиенті Нью-Йоркте, сервері Калифорнияда орналасқан клиент-серверлік жүйе жұмысының негізгі кідірісі де 10 мкс бола ма? Мыс сым бойынша сигналдың тарау уақыты, вакуумдағы сәуле жылдамдығының 2/3 бөлігіне тең деп алыңыз.
6. «Клиент-сервер» жүйесі спутниктік желіні қолданады. Спутниктің айналу орбитасы Жер бетінен 40 000 км қашықтықта. Осындай жүйеде берілген сұранысқа жауап күтуге кететін ең аз кідіріс уақыты қандай болады?
7. Болашақта, әр кімнің үйінде компьютерлік желіге қосылған терминал болған кезде, маңызды заңнамалық сұрақтар бойынша әпсәтте референдум жүргізуге болады. Ақырында, халыққа өз пікірін тікелей білдіруге мүмкіндік беріп, қызмет көрсетіп отырған заң шығарушы органдарды таратып жіберуге болады. Мұндай тікелей демократияның жағымды тұстары айқын. Кейбір жағымсыз аспектілерін талқылаңыз.
8. Екінүктелі байланысты ішкі желіге бес маршрутизаторды біріктіру қажет. Әр екі маршрутизаторды құрастырушылар жоғары жылдамдықты, орта жылдамдықты, төмен жылдамдықты тораптарға байланыстыра алады немесе мүлдем байланыстырмайды. Айталық компьютерге, әр топологияны моделдеу және сараптау үшін 100 мс уақыт қажет. Күтілетін жүктемеге сәйкес келетін ең жақсы нұсқаны таңдау үшін неше компьютерлік уақыт қажет?
9. Кеңтаратылымды ішкі желінің негізгі кемшілігі, біртегізде бірнеше хосттардың арналарына қолжеткізуге талпыныс нәтижесінде қуатты жоғалту. Қарапайым мысал ретінде, уақыт бірдей интервалға бөлінген, әр n хост арнады p ықтималдықпен қолдануға әрекет жасады делік. Қақтығыс нәтижесінде интервалдың неше пайызы жоғалады?
10. Көпдеңгейлі хаттамаларды пайдаланудың екі себебін айтыңыз. Оларды пайдаланудың кемшіліктері қандай?
11. Special Paint Corp. корпорациясының президенті жергілікті сыра пісіруші фабрикамен көрінбейтін сыра банкасын (қокыспен күрес ретінде) шығару үшін бірігуді шешті. Президент өзінің заң бөлімінен осы идеяны қарауды сұрады, ал олар өз кезегінде техникалық бөлімнен көмек сұрады. Нәтижесінде техникалық бөлім басшысы, жобаның техникалық аспектілерін шешу үшін, сыра фабрикасының техникалық бөлім басшысына қоңырау шалады. Бұдан кейін екі инженер де өз заң бөлімдеріне баяндама жасайды. Заң бөлімдері, телефон арқылы өзара заңнамалық сұрақтарды талқылайды. Соңында, екі корпорацияның президенттері істің қаржы жағын талқылайды. Бұл үрдіске көпдеңгейлі хаттаманың қандай принципі (OSI моделіне сәйкес) кедергі келтіреді?

12. Сенімді, қызметтерді байланыстыруға бағытталған екі желі бар делік. Желілердің біреуі сенімді байттар ағынын, екіншісі – сенімді деректер ағынын қамтамасыз етеді. Бұл желілер бірдей ме? Егер бірдей болса, не себепті айырмашылықтар көрсетіледі? Бірдей болмаса, айырмашылықтарына мысал келтіріңіз?
13. Желілік хаттамаларға қатысты «келістіру» (negotiation) термині нені білдіреді? Мысал келтіріңіз.
14. 1.16-суретте қандай да бір қызмет түрі бейнеленген. Осы суретте басқа да қызмет түрлері кетірілген бе? Бар болса, қай жерінде? Жоқ болса, не себепті?
15. Кейбір желілерде деректерді тасымалдау деңгейі бұзылған кадрларды қайта тасымалдауды сұрап, тасымалдау қателіктерін өңдейді. Егер кадрлардың бұзылу ықтималдығы p -ға тең болса, кадрларды жөнелтудің орташа саны нешеге тең болады? Шарт бойынша растау (подтверждения) еш уақытта жоғалмайды.
16. Жүйенің n -сатылы хаттамалар бағыныштысатылары бар. Қосымшалар өзара ұзындығы M байт мәлімдемелермен алмасады. Әр деңгейде h байт тақырып қосылады. Өткізгіштіктің неше пайызын тақырыптар алады?
17. TCP және UDP хаттамаларының негізгі айырмашылықтары неде?
18. 1.22-суреттегі ішкі желі ядролық соғысқа төтеп беретіндей етіп жобаланған. Егер бір бомба түйінді, оған келетін бүкіл торабымен жоятын болса, желіні екі окшауланған бөлікке бөлу үшін неше бомба керек?
19. Интернеттің көлемі әр 18 ай сайын екі есе артып отырады. Хосттардың нақты саны белгісіз, алайда, 2009 жылы бір сараптаушы 600 млн хост бар деген болатын. 2018 жылы Интернетте неше хост болады? Сіз өзіңіз осыған сенесіз бе? Өз көзқарасыңызды түсіндіріңіз.
20. Екі компьютер арасында файлдар тасымалдаған кезде (кем дегенде) екі стратегиялық растау қажет. Бірінші жағдайда, файл жеке дестелерге бөлінуі мүмкін. Әр дестенің жеткендігі қабылдаушымен жеке расталады, ал файлды толығымен алынғандығы расталмайды. Екінші жағдайда жеке дестелердің алынғандығы расталмайды, ал файлдың толығымен алынғандығы расталады. Екі нұсқаны да талқылаңыз.
21. Ұялы телефон желісі операторларына ұялы телефондардың (сәйкесінше, оны пайдаланушының) мекенжайын білу қажет. Мұның тұтынушы үшін қандай зияны бар екендігін түсіндіріңіз. Тұтынушы үшін пайдалы жақтарының себебін атаңыз.
22. 802.3 стандарты бойынша бір биттің ұзындығы (метрмен) қандай болады? Есептеу үшін жұмыс жылдамдығы 10 Мбит/с, сигналдың таралу жылдамдығы сәуленің вакуумдағы жылдамдығының $2/3$ бөлігі деп алыңыз.
23. Көлемі 1600×1200 , 3 байт/пиксел сығылмаған бейне бар делік. Бейнені 56 Кбит/с жылдамдықпен жұмыс жасайтын модем арқылы тасымалдау үшін неше уақыт қажет? 1 Мбит/с жылдамдықпен жұмыс жасайтын кабелдік модеммен тасымалдау үшін? 10 Мбит/с Ethernet арқылы ше? Гигабиттік Ethernet арқылы ше?
24. Ethernet және сымсыз желінің ұқсастықтары көп, айырмашылықтары да бар.

- Ethernet қасиеттерінің бірі, бір мезгілде тек бір кадр тасымалдайды. 802.11 стандарты оның осы қасиетін мұрағаттады ма?
25. Желілік хаттамалар үшін халықаралық стандарттың екі артықшылығы және екі кемшілігін атаңыз.
 26. Жүйенің, компакт-диск ойнатқышы және компакт-диск тәрізді тұрақты және алмалы-салмалы бөлігі бар болса, тұрақты және алмалы-салмалы бөліктерді әртүрлі компаниялар шығарып, олар бір-бірімен үйлесімді жұмыс жасу үшін жүйенің стандартталғаны қажет. Компьютерлік саладан тыс үш халықаралық стандартқа мысал келтіріңіз. Енді компьютерлік саладан тыс үш халықаралық стандарттың жоқтығына мысал келтіріңіз.
 27. k деңгейіндегі операциялар үшін қолданылатын алгоритм өзгерді делік. Бұл жағдай $k-1$ және $k+1$ деңгейлеріндегі операцияларға қалай әсер етеді?
 28. k деңгейіндегі қызметтерде (операциялар жиынтығы) өзгерістер болды делік. Бұл жағдай $k-1$ және $k+1$ деңгейлеріндегі қызметтерге қалай әсер етеді?
 29. Клиенттің жауап беру уақыты, кідірістің ең жақсы жағдайынан үлкен болатын себептер тізімін келтіріңіз.
 30. АТМ-де бекітілген ұзындықтағы кіші торларды қолданудың кемшіліктері қандай?
 31. Өзіңіздің күнделікті компьютерлік желі арқылы қандай іс-әрекеттер орындайтыныңызды атап шығыңыз. Егер желі тоқтап қалса, сіздің өміріңіз қалай өзгерер еді?
 32. Сіздің оқу немесе жұмыс орныңызда қандай желі орнатылғандығын біліңіз. Олардың түрлерін, топологиясын, коммутациялау әдістерін сипаттаңыз.
 33. *ping* программасы мәтіндік дестелерді көрсетілген адрес бойынша жөнелтуді және бір орыннан екінші орынға жету уақытын зерттеуге мүмкіндік береді. Осы программа көмегімен деректердің әртүрлі белгілі адресстерге жетуі үшін неше уақыт қажет екенін анықтаңыз. Алынған деректер негізінде өту уақытының арақашықтыққа тәуелділік графигін тұрғызыңыз. Тәжірибе үшін университеттер серверін пайдаланған дұрыс, себебі олардың орналасқан орны белгілі. Мысалы, berkley.edu Калифорния штатының Беркли қаласында, mit.edu – Кембридже (Массачусетс), vu.nl – Амстердамда (Голландия), www.usyd.edu.au – Сиднейде (Австралия), www.uct.ac.za – Кейптаунда (Оңтүстік Африка) орналасқан.
 34. IETF (www.ietf.org) сайтына кіріңіз, ұйымның немен айналысатынын оқыңыз. Мысал ретінде өзіңізге ұнаған кез келген жобаны алып, жоба жайлы есеп жазыңыз.
 35. Интернет көптеген желілерден тұрады. Олардың өзара орналасуы Интернет топологиясын анықтайды. Интернет топологиясы жайлы ақпарат өте көп, оларды әртүрлі веб-сайттардан табуға болады. Іздеу программаларының көмегімен сәйкес ақпаратты тауып, зерттеу нәтижесі бойынша қысқаша есеп жазыңыз.
 36. Қазіргі кезде Интернетте дестелерді бағыттау үшін қолданылатын кейбір маңызды нүктелер жайлы Интернеттен іздеп, оқып біліңіз.
 37. 7 деңгейлі хаттамалар моделінің ең жоғарғы деңгейінен ең төменгі деңгейіне

мәліметтер ағынын тасымалдайтын программа жазыңыз. Сіздің программаңыз әр деңгей хаттамасының функцияларыннан тұруы керек. Хаттамалар тақырыбы – 64 символдан аспайтын тізбек. Әр функцияның екі параметрі бар: жоғарғы деңгей хаттамасынан (кездейсоқ жұмыс буфері) келген мәлімдеме және мәлімдеме мөлшері. Бұл функция өз тақырыбын мәлімдеме алдына тіркеп, стандартты шығаруда жаңа мәлімдеме басып, сонан кейін төменгі деңгей хаттамасының функциясын шақырады. Программаны енгізу – қосымша мәлімдемесі (80 символдан тұратын немесе одан кем тізбек).

2

ФИЗИКАЛЫҚ ДЕҢГЕЙ

Бұл тарауда біз желілік модельдің төменгі деңгейі – физикалық деңгейді қарастыратын боламыз. Ол желі бойымен ақпарат биттерінің электр сигналдары түрінде тасымалданған кездегі желінің электрлік, уақыттық және басқа да мінездемелерін анықтайды. Физикалық деңгей – бұл желінің іргетасы. Деректерді тасымалдау арналарының өнімділігі (олардың өткізу жолағы, кешігу уақыты және қателерінің жиілігі) физикалық тасушының әр түрлі қасиеттерімен анықталады. Тасымалдау арналарының негізгі мінездемелері компьютерлік желілер әлеміне саяхатымыздың аттану нүктесі болады.

Физикалық тасушының көмегімен нені және қалай беруге болатындарға табиғат қандай нақты шектеулер қоятындығын таңқаларлықпен білу үшін деректерді тасымалдаудың теориялық талдауынан бастаймыз. Сонан соң біз тасымалдау ортасының үш түрімен танысамыз – сымды (мыс сымы және оптоалшық) және спутниктік жүйелермен байланысқан радиоэфир. Аталған әрбір технологияның бірегей ерекше қасиеттері көптеген жағдайларда желілерді құрудың принциптері мен өнімділігіне ықпал етеді. Біз заманауи желілерде қолданылатын деректерді тасымалдаудың маңызды технологияларының негізін оқитын боламыз.

Келесі тақырыбымыз сандық модуляция болады – аналогтық сигналдардың қалайша сандық сигналға және керісінше айналатыны туралы әңгімелесеміз. Сонан соң біз тығыздау схемасын қарастырамыз және бірнеше байланыс сеанстарының деректері, бір-біріне бөгет болмай, бір тасығыш бойымен беріле алатындығы туралы білеміз.

Тараудың қалған бөлігі ғаламдық желілерде іс жүзінде қолданылатын байла-

ныс жүйелерінің үш мысалына арналатын болады. Біз телефондық жүйеден бастаймыз (стационарлы), екінші мысал – ұялы телефондық жүйе және үшіншісі – кабельді теледидар. Айтылған технологиялардың барлығы аса маңызды және іс жүзінде күнделікті қолданылады, сондықтан әрбір мысалға кеңінен тоқталамыз.

2.1. ДЕРЕКТЕРДІ ТАСЫМАЛДАУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

Ақпарат сым бойымен қандай да бір физикалық шаманың, мысалы кернеу немесе ток күшінің өзгеруі есебінен беріле алады. Кернеу немесе ток күшінің мәнін бірмәнді функция, $f(x)$, түрінде көрсетіп, сигналдың мінез-құлқын модельдеп, оған математикалық талдау жасай аламыз. Осындай талдауға келесі тараулар арналатын болады.

2.1.1. Фурье қатарлары

19-ғасырдың басында француз математигі Жан-Батист Фурье (Jean-Baptiste Fourier) периоды T болатын кез келген периодты $g(t)$ функциясының синустар мен косинустардың қосындысынан тұратын қатарға (мүмкін, шексіз) жіктеле алатындығын дәлелдеген болатын:

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft) \quad (2.1)$$

Мұндағы, $f = 1/T$ – негізгі жиілік (гармоника), ал a_n және b_n – n -ші **гармониканың** синустары мен косинустарының амплитудалары. Осындай жіктеу **Фурье қатары** деп аталады. Фурье қатарына жіктелген функция осы қатардың элементтері бойынша қалпына келтіріле алады, яғни гармоникалардың T периоды мен амплитудалары белгілі болса, онда бастапқы функция (2.1) қатардың қосындысының көмегімен қалпына келтіріле алады.

Егер бүкіл сигнал шексіз қайталана береді (яғни, T -дан $2T$ -ға дейінгі интервал толығымен 0 -ден T -ға дейінгі интервалды қайталайды, т.с.с.) деп ойлайтын болсақ, ұзақтығы шектеулі ақпараттық сигнал (барлық ақпараттық сигналдардың ұзақтығы шектеулі) Фурье қатары түрінде беріле алады.

a_n амплитудалары кез келген берілген $g(t)$ функциясы үшін есептеле алады. Ол үшін (2.1) өрнектің оң жағын да, сол жағын да $\sin(2\pi nft)$ шамасына көбейтіп, сонан соң 0 -ден T -ға дейін интегралдау керек.

$$\int_0^T \sin(2\pi kft) \sin(2\pi nft) dt = \begin{cases} 0 & k \neq n \text{ болса} \\ T/2 & k = n \text{ болса} \end{cases}$$

орындалғандықтан қатардың бір мүшесі ғана қалады. Ол: a_n . Ал b_n қатары

толығымен жойылып кетеді. Осылайша, (2.1) өрнегін $\cos(2\pi nft)$ шамасына көбейтіп, 0-ден T -ға дейін интегралдасақ, b_n мәндерін есептей аламыз. Егер өрнекті өзгертпей, екі жағын да интегралдасақ, онда c тұрақтысының мәнін есептей аламыз. Бұл амалдардың қорытындысы келесідей:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt \quad c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt$$

2.1.2. Шектеулі спектрлі сигналдар

Осы айтылғандардың деректерді тасымалдауға қандай қатысы бар ма деген сұрақ туындайды. Арналардың физикалық мінездемелеріне байланысты әр түрлі жиілікті сигналдардың арналардағы мінез-құлқы да әр түрлі болады. Нақты бір мысал қарастырайық, «b» символының ASCII екілік кодындағы тасымалы. Ол үшін 8 бит (яғни 1 байт) қажет болады. Есеп – келесі биттер тізбегін тасымалдау керек: 01100010. 2.1 а-суреттің сол жағында жіберуші компьютерде шығыстағы кернеудің уақыттан тәуелділігі көрсетілген. Берілген сигнал үшін Фурье талдауының нәтижесінде коэффициенттердің келесі мәндерін аламыз:

$$a_n = \frac{1}{\pi n} [\cos(\pi n / 4) - \cos(3\pi n / 4) + \cos(6\pi n / 4) - \cos(7\pi n / 4)]$$

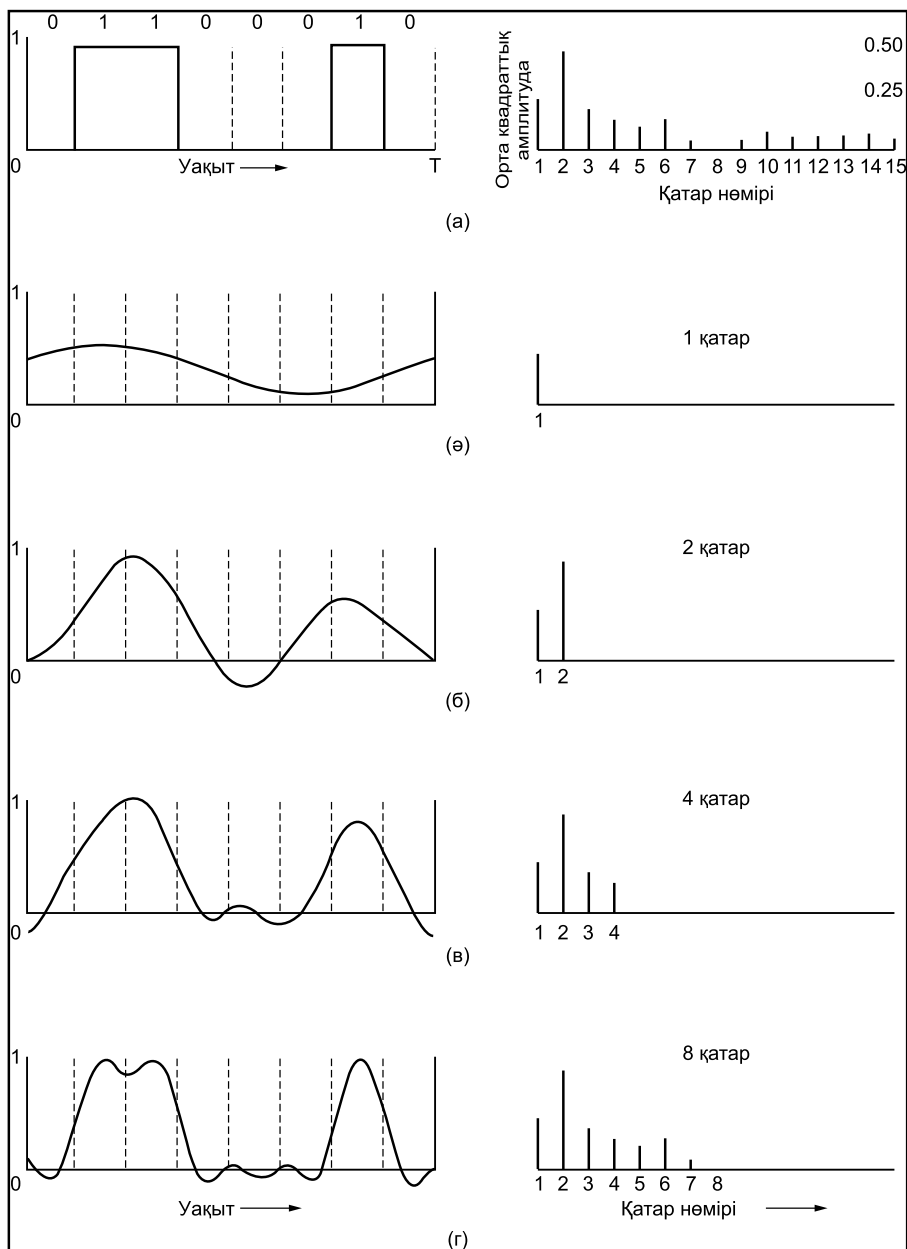
$$b_n = \frac{1}{\pi n} [\sin(3\pi n / 4) - \sin(\pi n / 4) + \sin(7\pi n / 4) - \sin(6\pi n / 4)]$$

$$c = 3 / 4$$

Алғашқы бірнеше гармоникалар үшін екілік сигнал және оның ортақвадраттық амплитудалары, $\sqrt{a_n^2 + b_n^2}$, 2.1 а-суреттің оң жағында келтірілген. Квадраттары сәйкес жиілікте берілген энергияға пропорционал болғандықтан бұл мәндер үлкен қызығушылық туғызуда.

Бірде-бір байланыс арнасы қуаттылықты ысырап етпей сигналдарды тасымалдай алмайды. Егер Фурье қатарының гармоникалары тасымалдау кезінде бірдей дәрежеде кішірейсе, онда сигнал амплитуда бойынша кішірейетін, бірақ ақауланбайтын еді (яғни оның 2.1 а-суреттегідей тамаша тікбұрышты формасы сақталатын еді). Өкінішке орай, барлық байланыс арналары, берілген сигналды ақауландырып, Фурье қатарының гармоникаларын әр түрлі дәрежеде кішірейтеді. Әдетте, кабельді желілер бойымен амплитудалар 0-ден қандай да бір f_c жиілік диапазонында (секундына период немесе герцпен (Гц) өлшенетін) дерлік аза-

юсыз тасымалданады, бұл жағдайда сигналдың жоғары жиілікті құрамдас бөлігі (қиюдың жиілігі деп аталатын f_c жиілігінен жоғары) белгілі дәрежеде бәсеңсиді. Жиіліктердің бұл диапазоны **өткізу жолағы** деп аталады. Іс жүзінде қию соншалықты оқыс емес, сондықтан жоғарыда атап кеткен өткізу жолағына қуаттылық ысырабы 50%-дан аспайтын жиіліктерді де енгізеді.



2.1-сурет. Фурье гармоникалары (а); түпнұсқа сигналға дәйекті түрде жуықтау (б-е)

Өткізу жолағы деректерді тасымалдау ортасының физикалық мінездемесі болып табылады және тасушының, мысалы сым немесе оптоалшықтың құрылысынан, қалыңдығы мен ұзындығынан тәуелді. Кей жағдайда, абоненттерге қолжетімді, өткізу жолағын әдейі кішірейту үшін сымға арнайы құрылғы – фильтр қосылады. Мысалы, сымсыз 802.11 стандартты арналар үшін ені шамамен 20 МГц болатын өткізу жолағы бөлінеді, сондықтан радиохабарлағыштар сигналды сәйкесінше қысқартып отырады. Тағы бір мысал: дәстүрлі теледидар арналарында өткізу жолағы, деректер сым немесе сымсыз тәсілмен тасымалданғанынан тәуелсіз, 6 МГц болады. Осындай сүзілудің арқасында спектрдің нақты ауқымында сигналдардың үлкен санын тасымалдауға болады, оның есебінен жүйенің жалпы тиімділігі артады. Жеке сигналдардың жиілік ауқымы нөлден өзгеше мәннен басталатын болады, бірақ ол ешқандай рөл атқармайды. Өткізу жолағы – бұл жиіліктің рұқсат етілген әлдебір ауқымы және ақпаратты тасымалдау мүмкіншілігі жиіліктердің бастапқы және соңғы мәндерінен емес, оның енінен ғана тәуелді. Жолақтың нөлден жоғарғы шекарасына дейінгі жиілік ауқымында тасымалданатын сигналдар модуляцияланатын сигналдар деп аталады. Жиіліктің жоғарғы ауқымына ығысатын сигналдарды, мысалы, деректерді сымсыз тасымалдаудың барлық түрі сияқты, жолақтағы сигналдар деп атайды.

Енді, егер өткізу жолағының бойымен тек төмен жиіліктер ғана өтетін болса (яғни $g(t)$ функциясы (2.1), өрнегіндегі қатардың тек алғашқы бірнеше мүшесі арқылы жуықталатын болса), онда 2.1 *a-суретте* көрсетілген сигналдың түрі қандай болатынын қарастырайық. 2.1 *a-суретте* сигналдың тек бірінші (негізгі, f) гармоникасын өткізетін арнаның шығысындағы сигнал бейнеленген. Осылайша 2.1 *b-в-суреттер* өткізу жолағы анағұрлым кең арналарға арналған қалпына келтірілген сигналдар мен спектрді көрсетеді. Сандық деректерге келсек, мұнда ең басты есеп – оларды биттердің алғашқы тізбегін қалпына келтіруге мүмкіндік беретіндей минималды сапамен тасымалдау. Ол үшін 2.1 *в-суретте* көрсетілген сигнал жеткілікті, яғни анағұрлым дәл нұсқаны алу үшін ресурстарды шығын қылу мен гармоникалардың өте үлкен санын пайдаланудың қажеті жоқ.

b бит/с шамасына тең биттердегі тасымалдау жылдамдығы берілген болса 8 битті тасымалдауға қажетті уақыт $8/b$ секундқа тең болады. Сонымен, бірінші гармониканың жиілігі $b/8$ Гц шамасына тең. Көп жағдайда, сөйлеу арнасы деп аталатын қарапайым телефон сымының 3000 Гц маңайында жасанды құрылған қию жиілігі болады. Бұл шектеу телефон арнасы арқылы өтетін ең биік гармониканың нөмірі шамамен (қию онша қатаң емес) $3000/(b/8)$ немесе $24000/b$ шамасына тең болады дегенді білдіреді.

Деректерді тасымалдаудың кейбір жылдамдықтары үшін бұл мәндер 2.1-*кестеде* келтірілген. Келтірілген деректерден сөйлесу арнасы арқылы деректерді 9600 бит/сек жылдамдықпен тасымалдауға талпыну 2.1 *a-суретте* көрсетілген сигналды 2.1 *a-суретте* көрсетілген ұқсас бір нәрсеге айналдыратыны түсінікті, ал ол бастапқы биттер ағынын қолайлы сапамен қабылдауды іс жүзінде мүмкін болдырмай тастайды. Әлбетте, 38 400 бит/сек және одан да жоғары жылдамдықпен тасымалданған сигналдардың, сымда кедергілер мүлдем болмаса да, сөйлеу арна-

сы арқылы өтуге ешқандай мүмкіндігі жоқ. Басқаша айтқанда, арнаның жиілікті өткізуші шектелген жолақтары, тіпті арна мінсіз болса да, екілік деректерді тасымалдау үшін оның өткізу мүмкіншілігін шектейді. Бірақ кернеудің бірнеше деңгейін пайдаланатын схемалар бар және олар деректерді тасымалдаудың анағұрлым жоғары жылдамдығына қол жеткізуге мүмкіндік береді. Ол мәселені біз тараудың соңында талқылаймыз.

2.1-кесте

Біздің мысал үшін деректерді тасымалдау жылдамдығы мен гармоникалар санының арасындағы қатынас

Бит/с	T, мс	1-ші гармоника, Гц	Өткізілетін гармоникалар саны
300	26.67	37,5	80
600	13.33	75	40
1200	6.67	150	20
2400	3.33	300	10
4800	1.67	600	5
9600	0.83	1200	2
19200	0.42	2400	1
38400	38400	38400	38400

«Өткізу жолағы» термині инженер-электриктер мен компьютер мамандары үшін әр түрлі нәрсені білдіретіндіктен көптеген түсінбеушіліктер туындап жатады. Инженер-электрик (аналогты) үшін өткізу жолағы, жоғарыда айтылғандай, жиілік ауқымының енін көрсететін герцтегі мәндер. Компьютер маманы үшін (сандық) өткізу жолағы – бұл арнадағы деректердің максималды жылдамдығы, яғни секундына битпен өлшенетін мән. Іс жүзінде, деректің жылдамдығы физикалық арнаның, сандық ақпаратты тасымалдауда қолданылатын, ұқсас өткізу жолағымен анықталады және біз әрі қарай байқайтынымыздай бұл екі көрсеткіш бір-біріне ұқсас. Бұл кітапта әрбір нақты жағдайда қандай термин туралы айтылғандығы, аналогты (Гц) немесе сандық (бит/с) өткізу жолағы, мән-мәтіннен түсінікті болады.

2.1.3. Арна арқылы деректі тасымалдаудың максималды жылдамдығы

1924 жылы AT&T компаниясының инженері, американдық ғалым Х. Найквист (H. Nyquist) тіпті мінсіз арна үшін де, тасымалдаудың қайсыбір шекті жылдамдығы бар деген тұжырымға келді. Ол жиілікті өткізу жолағы шектеулі шусыз арнада, деректерді тасымалдаудың максималды жылдамдығын табуға мүмкіндік беретін теңдеуді қорытып шығарды. 1948 жылы Клод Шеннон (C. Shannon) Найквистің жұмысын одан әрі жалғастырып, оны кездейсоқ (яғни, термодинамикалық) шулы

арна үшін кеңейтті. Бұл – бүкіл ақпаратты тасымалдау теориясындағы маңызды жұмыс. Бүгінгі таңда классикалық болып саналатын, Найквист пен Шеннон жұмыстарының нәтижесін қысқаша қарастыратын боламыз.

Егер Найквист еркін сигнал өткізу жолағы B болатын төмен жиілікті арна арқылы өткен болса, онда мұндай сүзгіден өткен сигнал, секундына $20B$ жиілікпен өлшенетін, өзінің дискретті мәндері бойынша толығымен қалпына келтіріле алатындығын дәлелдеді.

Сигналды өлшеуді секундына $2B$ шамасынан жиі жүргізудің мағынасы жоқ, себебі сигналдың анағұрлым жоғары жиілікті құрамдас бөліктері сүзгіден өтті. Егер сигнал V дискретті деңгейден тұратын болса, онда найквист теңдеуінің түрі келесідей болады:

$$\text{деректерді тасымалдаудың максималды жылдамдығы} = 2B \log_2 V, \text{ бит/с} \quad (2.2)$$

Мысалы, өткізу жиілігі $3кГц$ болатын шусыз арна екілік (яғни, екі деңгейлік) сигналдарды 6000 бит/с шамасынан асатын жылдамдықта бере алмайды.

Сонымен, біз шусыз арна жағдайын қарастырдық. Арнадағы кездейсоқ шудың пайда болуы жағдайды күрт төмендетеді. Арнадағы термодинамикалық шудың деңгейі сигналдың қуатының шудың қуатына қатынасымен өлшенеді және **сигнал/шу қатынасы** деп аталады. Егер сигналдың қуатын S деп, ал шудың қуатын N деп алсақ, онда сигнал/шу қатынасы S/N шамасына тең болады. Әдетте, қатынас шамасы оның $10:10 \lg S/N$ шамасына көбейтілген ондық логарифмі арқылы өрнектеледі, себебі оның мәні өте үлкен ауқымда өзгере алады. Мұндай логарифмдік межелік бірлігі **децибел** (decibels, dB, дБ) деп аталады, мұндағы «деци» қосымшасы «он» дегенді білдіреді, ал «бел» – телефонды ойлап тапқан Александр Грэм Беллдің құрметіне аталған өлшем бірлігі.

Сонымен, 10 шамасына тең сигнал/шу қатынасы 10 дБ шамасына сәйкес, 100 шамасына тең қатынас – 20 дБ, 1000 шамасына тең қатынас 30 дБ т.с.с. Стереокүшейткіштерді өндірушілер көп жағдайда аппаратуралары 3 дБ маңайында амплитудалық-жиілік мінездемесі сызықты болатын жиілік жолағын көрсетеді. 3 дБ маңайындағы ауытқу сигналдың шамамен екі есе әлсірегеніне сәйкес болады (себебі $10 \log_{10} 0.5 = -3$).

Шеннон алған басты нәтиже деректерді тасымалдаудың максималды жылдамдығы немесе жиілік жолағы B Гц және сигнал/шу қатынасы S/N болатын арнаның сыйымдылығы келесі формула бойынша есептеледі:

$$\text{деректерді тасымалдаудың максималды жылдамдығы} = 2B \log_2(1+S/N) \text{ бит/с} \quad (2.3)$$

Бұл шынайы арна үшін бақылауға мүмкін болатын сыйымдылықтың ең жақсы мәні. Мысалы, Интернетке телефон сымы арқылы қол жеткізуге мүмкіндік беретін, ADSL арнасының өткізу жолағы (Asymmetric Digital Subscriber Line – асимметриялық сандық абонентті сым) шамамен $1М$ Гц болады. Сигнал/шу қатынасы белгілі бір дәрежеде тұтынушының компьютері мен телефон

станциясының арасындағы қашықтықтан тәуелді. Ұзындығы 1 мен 2 км арасында болатын қысқа сымдар үшін өте жақсы мән болып 40 дБ саналады. Мұндай мінездемелермен арна, сигнал модуляциясының тәсілдерінен тәуелсіз, яғни сигналдың қолданылатын деңгейлер саны, дискреттеу жиілігі, еш уақытта 3 Мбит/с шамадан артық тасымалдай алмайды. Қызмет көрсетуші деректерді тасымалдау жылдамдығын 12 Мбит/с дейін мәлімдей алады, бірақ тұтынушыларға деректерді тасымалдаудың мұндай сапасын байқаудың сәті өте сирек кездеседі. Дегенмен, бұл ақпаратты тасымалдау технологиясының алпыс жылдық дамуында орын алған тамаша нәтиже. Бұл жылдар аралығында Шеннон уақыттарына тән арнаның сыйымдылығынан қазіргі таңдағы шынайы желілерге дейін үлкен секіріс болды.

Шеннон алған және ақпараттар теориясының постулаттарымен бекітілген Гаус (термальді) шуы бар кез келген арнаға қолданыла алады. Кері жағдайды дәлелдеуге тырысу сәтсіз аяқталады. ADSL арнасында 13 Мбит/с артық жылдамдықты қамтамасыз ету үшін не сигнал/шу қатынасын жақсарту керек (мысалы, деректерді тасымалдау сымдарына тұтынушылар компьютерлеріне сәйкес келетін сандық қайталағыштарды қосу), немесе технологияның жаңа нұсқасы ADSL2+ сияқты өткізу жолағын ұлғайту қажет.

2.2. АҚПАРАТТЫ ТАСЫМАЛДАУДЫҢ СЫМДЫҚ ОРТАСЫ

Желінің физикалық деңгейі бір машинадан екінші машинаға биттерді тасымалдауға арналған. Тасымалдау үшін, сигналдың таралу ортасы деп аталатын, әр түрлі ақпарат тасығыштар қолданылады. Олардың әрқайсысы өзіне тән өткізу жолақтары жинағына, кешігулерге, бағаға, орнату мен қолданылудың қарапайымдылығына ие. Ақпаратты тасымалдау ортасын екі топқа бөлуге болады: мыс және оптоалшықты сымдар сияқты, сымды орталар, және жер бетіндегі сымсыз және спутниктік байланыстарға, сондай-ақ кабельсіз лазер сәулесі бойынша тасымалдауға арналған сымсыз орталар. Бұл тарауда біз сымды ортаны қарастырамыз, сымсыз орта туралы келесі тарауларда оқитын боламыз.

2.2.1. Магнитті тасушылар

Деректерді бір компьютерден екіншісіне тасымалдаудың ең қарапайым түрі – оларды магнитті таспаға немесе басқа алып-салмалы тасушыға (мысалы, қайта жазғыш DVD) жазу, бұл таспалар мен дискілерді керекті жерге физикалық тасымалдап, оларды сол жерде оқу. Бұл тәсіл геостационарлық спутниктік байланысты пайдаланғаннан көрі, әсіресе өткізу мүмкіншілігінің жоғары немесе бит бағасы негізгі фактор болатын кейбір қосымшаларда, экономикалық тұрғыдан алғанда, анағұрлым тиімді.

Келтірілген мәселені талдауға бізге қарапайым есептеулер көмектесетін бола-

ды. Ultrium таспалы стандартты кассетаға 800 Гигабайт ақпарат сыйады. $60 \times 60 \times 60$ өлшемді қорапқа мұндай кассетаның 1000 данасы сыйады, ал бұл 800 терабайт немесе 6400 петабит (6.4 петабит) жалпы сыйымдылықты береді. Ішінде кассеталар бар қорапты АҚШ көлемінде Federal Express қызметі немесе басқа компаниялар 24 сағаттың айналасында жеткізетін еді. Мұндай тасымалдау кезінде тиімді өткізу жолағы 6400 терабит/86 400с немесе 700Гбит//с шамасынан аз ғана үлкен болады. Егер жеткізу бекетіне бар болғаны бір сағат жол жүру керек болса, онда өткізу мүмкіндігі 1700 Гбит/с жоғарыны құрайды. Бір де бір компьютерлік желі әзірше мұндай көрсеткішке жетуге дайын емес.

Егер біз бұл мәселеге экономикалық тұрғыдан қарайтын болсақ, онда осыған ұқсас көріністі аламыз. Кассетаның көтерме бағасы шамамен 40\$ құрайды. Таспалы қорап 4000\$ шығады, сонымен бірге бір таспаны ондаған рет пайдалануға болады. 1000\$ тасымалдауға қоссақ (шындығында, одан анағұрлым аз), нәтижесінде біз 800 тбайт/с ақпаратты тасымалдау үшін 5000 маңайында немесе бір гигабайт үшін центтің жартысынан сәл көптеу жұмсаймыз. Әлемдегі бір де бір желі мұндай жағдаймен бәсекелесе алмайды. Бұл әңгіменің ғибраты осындай.

Деректерді тасымалдаудың жылдамдығын кассета толтырылған, жол бойымен тарсылдап жүріп келе жатқан автомобильмен беру туралы есіңе алма.

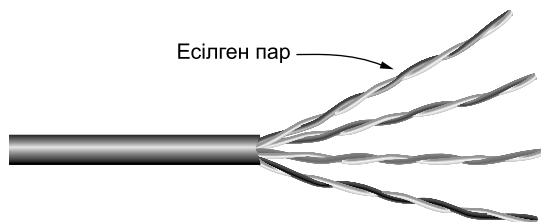
2.2.2. Есілген жұп

Деректерді тасымалдау жылдамдығы оларды таспа арқылы бергенде өте жақсы болғанымен, кешігу шамасы бұл жағдайда өте үлкен болады. Тасымалдау уақыты миллисекундпен емес, минут немесе сағатпен өлшенеді. Көптеген қосымшалар үшін қашықтағы жүйенің лезде әрекет етуі қажет (қосылған режимде). Алғашқылардың бірі және осы уақытқа дейін жиі қолданылатын тасымалдаудың құралы есілген жұп болып табылады. Бұл тасушы, әдетте диаметрі 1 мм болатын, екі оңашаланған мыс сымнан тұрады. Сымдар, бірі екіншісін спираль тәрізді орап, ДНК молекуласына ұқсас болып кетеді. Бұл қатар орналасқан бірнеше есілген жұптың электромагниттік әсерлесуін азайтуға мүмкіндік береді. (Екі параллель сым қарапайым антеннаны құрайды, ал есілген жұпта бұлай емес). Сигнал әдетте, жұп құрайтын, екі сымдағы потенциалдардың айырымы ретінде беріледі. Бұл сыртқы шуға жақсы орнықтылықты қамтамасыз етеді, себебі шу екі сымға бірдей әсер етеді, осылайша потенциалдар арасындағы айырмашылық өзгермей қалады. Есілген жұптың кең тараған қолданысы телефон желісі болып табылады. Дерлік барлық телефондар телефон компанияларымен аталған тасушының көмегі арқылы жалғасады. Есілген жұп арқылы тек телефон қоңыраулары ғана беріліп қоймайды; ADSL технологиясы бойынша интернетке қол жеткізу де есілген жұп арқылы жүзеге асырылады. Есілген жұп сигналды бірнеше километрді құрайтын арақашықтыққа әлсіретпей тасымалдай алады. Анағұрлым алыстағы қашықтықтарда сигналдың әлсіреп кетуіне байланысты қайталауыштар қажет болады. Үлкен ара қашықтыққа бір бағытта тартылған есілген жұптардың үлкен саны, қорғаныс жабуы кигізілген

кабельге бірігеді. Егер осындай кабельдердің ішінде орналасқан сымдар жұбы есілмеген болса, онда олар арқылы өтетін сигналдар бірінің үстіне бірі жапсырылатын еді. Диаметрі бірнеше сантиметр болатын телефон кабельдерін діңгектерде созылған күйде көруге болады.

Есілген жұптар аналогтық та, сандық та деректерді тасымалдау үшін қолданылады. Өткізгіш жолағы сымның диаметрі мен ұзындығынан тәуелді, бірақ көбінесе бірнеше километр болатын ара қашықтықта секундына бірнеше мегабит жылдамдыққа қол жеткізуге болады. Өткізгіш қабілетінің жоғарылығына және көп емес бағасына байланысты есілген жұптар кеңінен таралған және келешекте де өзінің құнын жоя қоймас.

Есілген жұптар бірнеше түрде пайдаланылады. Офистік ғимараттарда 5 немесе «Cat 5» категориялары анағұрлым кеңінен таралған. 5 категориялы есілген жұп бір-біріне есілген екі оқшаулаған сымнан тұрады. Төрт осындай жұп әдетте бірге пластикалық қабыққа салынады. Ұқсас схема 2.2-суретте көрсетілген.



2.2-сурет. Төрт есілген жұбы бар бесінші категориялы UTP кабелі

Әр түрлі стандартты желілерде есілген жұп әрқалай қолданылады. Мысалы, 100-мегабайттық Ethernet желісінде деректер екі жұп (төрттен) бойынша тасымалданады, әр бағытта бір жұптан.

Анағұрлым жоғары жылдамдыққа қол жеткізу үшін 1 гигабайттық Ethernet желілерінде деректер барлық төрт жұп бойынша біруақытта екі бағытта да тасымалданады. Қателерді болдырмас үшін қабылдаушы құрылғы локальді тасымалданған сигналды бөліп ала білуі керек.

Азырақ құрғақ терминология туралы. Бойымен деректер екі жаққа да бір уақытта тасымалдана алатын сымдар, көшедегі екі жақты қозғалыс сияқты, дуплексті деп аталады. Ал деректер бойымен уақыттың әрбір сәтінде тек бір бағытта ғана, көшедегі реверсті қозғалыс сияқты, тасымалдана алатын сымдар жартылай дуплексті деп аталады. Үшінші категория – бұл бір бағыттағы қозғалысы бар жолдар сияқты, сигналдарды тек бір бағытта ғана тасымалдай алатын сымдар. Олар симплексті деп аталады.

Есілген жіпке қайта оралайық, үшінші категориялы есілген жұптың орнына бесінші категориялы есілген жұп келді. Бұл жұптың ажыратқыштары бұрынғыдай, бірақ сымның бір метр ұзындықтағы орамдарының саны үшінші категориялы кабельден көп. Орамдардың көптігі сигналды үлкен ара қашықтыққа тасымалдаудың

жақсы сапасын қамтамасыз етеді және нысанаға алуды азайтады. Сонымен, 5 категориялы есілген жұп жоғары сапалы компьютерлік байланысқа жақсы үйлеседі, әсіресе 100-мегабиттік және 1-гигабиттік Ethernet желілері үшін.

Жаңа стандарт, бәлкім, 6 немесе тіпті 7 категориялы кабельдер болады. Бұл категориялардың қатаң ерекшелігі өткізгіш жолағы үлкен сигналдарды өңдеуге мүмкіндік береді. Кейбір 6 және одан да жоғары категориялы кабельдер жиілігі 500 МГц сигналдарға арналған; оларды, күшейтуі жақын арада жоспарланған, 10-гигабиттік желілерде пайдалануға болады.

6 категорияға дейін, бұл жалғанулардың барлық типін көбінесе **UTP (Unshielded Twisted Pair – экрандалмаған есілген жұп)** деп атайды, себебі олар тек сымдар мен бөлектеулерден ғана тұрады. Оларға қарама қарсы, 7 категориялы кабельдерде тек есілген жұптары ғана емес, бүкіл кабель қалқалаушы (қорғаныш пластикалық қабықшаға салынған). Экрандау сыртқы шуға сезімталдықты және көршілес кабельдер арасындағы нысанаға алуды азайтады. Осыған орай, 7 категориялы есілген жұп өнімділікке қойылған жоғары талаптарға жауап береді. 7 категориялы кабель IBM компаниясының нарыққа 1980 жылы ұсынған жоғары сапалы, бірақ қолайсыз қалқалаушы есілген жұптан тұратын кабельдерін еске түсіреді. Олар IBM фирмасынан тысқары жерде танымал бола алмады. Сірә, тағы бір байқап көрудің сәті келген болар.

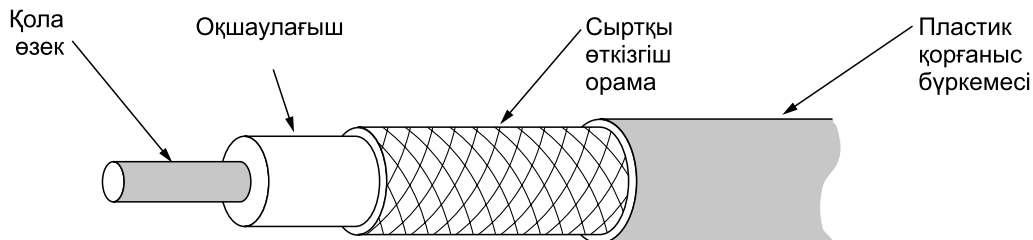
2.2.3. Коаксильді кабель

Деректерді тасымалдаудың тағы бір тәсілі коаксильді кабель болып саналады. Ол есілген жұптан гөрі жақсы қалқалаушы, сондықтан деректерді жоғары сапамен анағұрлым алыс қашықтыққа тасымалдай алады. Кабельдердің екі түрі кеңінен тараған. Олардың бірі 50-Омдық, әдетте олар тек сандық деректерді тасымалдау үшін қолданылады. Кабельдің екінші бір түрі 75-Омдық, аналогты деректерді тасымалдау үшін және кабельді теледидарда жиі қолданылады. Мұндай бөлінудің негізінде, ең дұрысы техникалық факторлар емес, тарихи факторлар жатады (мысалы, алғашқы дипольдық антенналардың импедансы 300 Ом болды және ең ыңғайлысы импедансы 4:1 қатынаста болатын қолданыста бар түрлендіргіштерді қолдану). 1990 жылдардан бастап кабельді теледидар операторлары Интернетке қол жеткізу қызметін көрсете бастады, ол ақпаратты тасымалдау ортасында 75-Омды кабельді анағұрлым маңызды етті.

Коаксильді кабель, оның ортасында орналасқан, айырулармен қапталған, қатты мыс сымнан тұрады. Айырудың үстінен, әдетте ұсақ мыс тор түрінде орындалған, цилиндрлік өткізгіш тартылған. Ол айырудың қорғаныс қабатымен қапталған (пластикалық қабықша).

Коаксильді кабельді экрандаудың конструкциясы мен арнайы түрі жоғары өткізгіштік қасиет пен кедергіден қорғанысты қамтамасыз етеді. Максимальді өткізгіштік мүмкіншілігі сапа мен ұзындықтан тәуелді. Заманауи кабельдердің өткізгіш жолағы бірнеше гигагерцке дейін жетеді. Коаксильді кабельдер теле-

фон жүйелерінде кеңінен қолданылды, бірақ үлкен ұзындықты сымдарда олар оптоалшықты кабельдермен алмастырылуда. Бірақ коаксильді кабельдер көп жағдайларда кабельді теледидар үшін және кейбір жергілікті желілерде қолданылады.



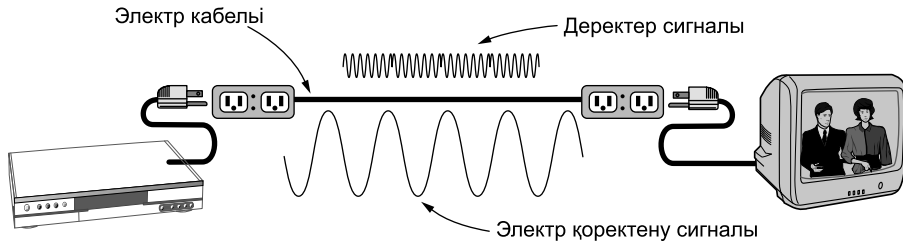
2.3-сурет. Коаксильді кабель

2.2.4. Электркоректену сымдары

Телефон желілері мен кабельді теледидар ақпаратты қайта тасымалдау үшін бейімдеуге болатын, деректерді тасымалдау сымдарының жалғыз емес. Тағы бір кең тараған сымды желі: электрлік. Электр коректену сымдары бойынша электр энергиясы үйлерге жеткізіледі. Үйлердің ішінде ол сымдар арқылы розеткаларға жалғанады.

Деректерді тасымалдау үшін электр коректену сымдарын қолдану идеясы ертеректе туындады. Электр компаниялары осындай тәсілмен көптеген жылдар бойы көрсеткіштерді алыстан алуда. Сонымен қатар, осындай деректерді төмен жылдамдықпен тасымалдау әр түрлі үй құрылғыларын басқаруға мүмкіндік береді (мысалы, X10 стандарты бойынша). Соңғы жылдар электр коректену сымдары бойынша деректерді жоғары жылдамдықпен тасымалдауға деген қызығушылық, үйдің ішінде де, одан тысқары жерде де, Интернетке қосылу үшін, қайтадан жаңғырды. Біз анағұрлым кең тараған нұсқа: электрсымдарын үйде пайдалануды қарастыратын боламыз.

Мұндай нұсқаның қолайлылығы айдан анық. Жай ғана теледидарды және қабырғадағы ресиверді іске қосыңыз (мұны кез келген жағдайда орындау керек, себебі құрылғыларға электр коректену қажет), олар электр сымдары бойынша фильмдерді жібере және ала алатын болады. Осындай конфигурация 2.4-суретте көрсетілген. Ешқандай басқа ажыратқыштар немесе радиосигналдарды беретін нүктелер жоқ. Деректер сигналы электр коректенудің төмен жиілікті сигналына қойылады (активті сымда – кернеуден төмен тұрғанына) және екі сигнал да сым бойынша бір уақытта тасымалданады.



2.4-сурет. Үй электроөткізгіштеріне негізделген желі

Үй электрсымдарын деректерді тасымалдау желілерін құру үшін пайдаланудың қиыншылығы – оның негізгі тағайындалуы – бұл электр энергиясын тарату екендігінде. Әрине, бұл екі есептің бір-бірінен түбегейлі айырмашылығы бар. Электр сигналдары 50-60 Гц жиілікпен тасымалданады, ал анағұрлым жоғары жиілікті сигналдар (олардың жиілігі мегагерц бірлігімен өлшенеді) басылады. Әр түрлі үйлерде сымдардың қасиеттері бір-бірінен қатаң айырмашылығы болуы мүмкін, сонымен бірге олар тұрмыс құралдарын қосып және өшіргенде өзгеруі мүмкін, бұл деректер сигналының тұрақсыздығына алып келеді. Құрылғыны қосып сөндіргенде орнатылмаған тоқ жиіліктің үлкен ауқымында электр шуын тудырады. Ал мұқият бұралмаса (есілген жұптағы сияқты), электр сымсы сыртқы сигналдарды жинап, өзінікін шағылыстыра, жұқа антенна сияқты жұмыс істейді. Мұндай мінез-құлық стандарттар нормасына жауап беру үшін деректер сигналдарына әуесқой радиостанцияларға бөлінген лицензияланған жиіліктерді алып тастау керек дегенді білдіреді.

Келтірілген қиыншылықтарға қарамастан, сигналдың бәсеңсуін болдырмау схемасын пайдаланып және қателерді басып отырып, кәдімгі үй электр желісінен деректерді кемінде 100 Мбит/с жылдамдықпен жіберуге болады. Көптеген өнімдер үшін деректерді электр қоректену сымдары арқылы тасымалдаудың патенттелген стандарттары қолданылады, бірақ халықаралық стандарттар әзірше белсенді түрде өңделу үстінде.

2.2.5. Талшықты оптика

Компьютерлік технологияның Мур (ол кристалдағы транзисторлардың саны әрбір екі жыл сайын шамамен) заңына сәйкес жылдам дамуы аталған индустрияның көптеген өкілдерінің мақтанышын туғызады. IBM фирмасының 1981 жылы пайда болған дербес компьютері 4,77 МГц тактілік жиілікпен жұмыс істеді. 28 жылдан соң бұл көрсеткіш төрт ядролы процессорлерде 3 ГГц жиілікке дейін өсті. Көбейткіштің артуы 2500 немесе декадасына 16-ға дейін жетті. Ондай жаман емес.

Осы уақыт аралығында деректерді тасымалдаудың жылдамдығы 45 Мбит/секундтан (телефон сымдары бойынша Т3 сызығы) 100-ге дейін (заманауи ұзын сым), бұл әсерлігі кем емес 2000 рет немесе декадасына 16 рет өсуді білдіреді.

Сонымен қатар, қатенің ықтималдылығы тасымалдау кезінде битке 105-тен нөлге дейін кеміді. Сонымен қатар, процессорлар өзінің физикалық шегіне дейін жетуге жақындайды, сондықтан қазір бір кристалда олардың бірнешеуі қолданылады. Қазіргі таңдағы оптоалшықты технология, керісінше деректерді тасымалдаудың жылдамдығын 50 000 Гбит/с (50 Тбит/с) шамасына дейін өсіре алады және оның физикалық шегіне дейін бізге әлі алыс. Қазіргі таңдағы іс жүзіндегі 100 Гбит/с шек біздің электр сигналдарын оптикалыққа және керісінше түрлендірулерді жылдам жасайтын қабілетіміздің жоқтығына байланысты. Анағұрлым жоғары жылдамдыққа қол жеткізу үшін, бір талшықтан бір уақытта деректер бірнеше арналарға тасымалданып отырады.

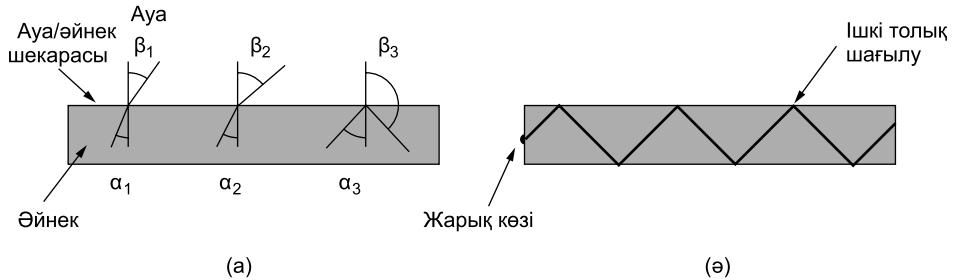
Бұл тарауда біз оптикалық талшықпен танысамыз және деректер оптоалшық бойымен қалай тасымалданып отыратынын білеміз. Компьютерлер мен байланыс арналарының бәсекелесінде соңғысының, талшықтық оптиканың арқасында, жеңіске мүмкіншілігі бар. Егер осы жүзеге асатын болса, онда әлемде дерлік шексіз өткізу жолағы деген мүлдем жаңа ұғым пайда болып қоймай, барлық компьютерлер үмітсіз баяу және желілер, өткізу жолағының қай бөлігінің жоғалып кететініне қарамастан, қалай да болса есептеулерден аулақ болулары керек деген ой қалыптасады. Шеннон қалыптастырған төмен жылдамдықты мыс сымдар мен шектеулер терминдері туралы ойлауға үйренген компьютерші-ғалымдар мен инженерлердің сана сезіміне жаңалық сіңуі үшін уақыт керек.

Әрине, бұл көріністе маңызы аз емес бір тетік жетіспей тұр: ол бағалар. Әрбір тұтынушының компьютеріне дейін, сымдарға тән шектеу – төмен өткізгіш жолағы мен көп емес жиілік ауқымын айналып өтіп, оптоалшықты жеткізуге кеткен шығын, жай ғана зор. Одан бөтен, тек қана биттерді орын ауыстыруға, есептеулерге қарағанда, көп энергия жұмсалады. Не есептеулер бағасы, не орын ауыстырулар бағасы нөлге жақындайтын теңсіздік аралдары барлық уақытта табылатын болады. Мысалы, Интернетке шыққанда, Ғаламдық желіге қол жеткізуді тиімді ету мақсатында, дискінің ішіндегіні қысып, кэштеу үшін, біз барлық есептегіш мүмкіндіктерді пайдаланамыз және дисктегі орынды жұмсаймыз. Интернетте керісінше, процестің болуы мүмкін емес. *Google* сияқты компаниялар желі бойында деректердің орасан зор көлемін жібереді де, олардың сақталуы мен өңделуі арзан болатын жерде орналастырып қояды.

Оптоалшық ақпаратты өте үлкен ара қашықтықта, жоғары жылдамдықты желілердің ішінде (ол мыс сымдардан керегінше алысқа кете алмаса да), желілік магистральді байланыстар бойынша тасымалдау үшін және Интернетке тиімді қол жеткізу үшін, мысалы ФТТН (*Fiber to the Home* – талшық тура үйге) қолданылады. Деректерді оптоалшық арқылы тасымалдау үш негізгі компоненттерден тұрады: жарық көзінен, бойымен жарық сигналы таралатын тасушыдан және сигнал қабылдағыш немесе детектордан тұрады. Жарық импульсы бірлік деп, ал оның болмауы нөл деп қабылданады. Жарық өте жұқа шыны талшықта таралады. Оған жарық түскен кезде детектор электр импульсін тудырады. Оптоалшықтың бір соңына жарық көзін, екінші соңына детекторды қосып біз деректерді тасымалдаудың бірбағытталған жүйесін аламыз. Жүйе электр сигнал-

дарын қабылдайды да, оларды, талшық бойымен берілетін, жарық импульстарына айналдырады. Екінші жақта электр сигналдарына кері түрлендіру орын алады.

Егер жарық жолда ыдырап кетсе немесе өзінің қуатын жоғалтып алса, онда мұндай жүйе жарамсыз болар еді. Бірақ берілген жағдайда өте қызық бір физикалық заңдылық қолданылады. Жарық сәулесі бір ортадан екінші ортаға өткен кезде, мысалы әйнектен (ерітілген және қатып қалған кварц) ауаға, әйнек-ауа шекарасында сәуле *2.5 а-суретте* көрсетілгендей (рефракция немесе сыну тиімділігі) ауытқиды. Суреттен біз жарық сәулесінің α_1 бұрышпен түсіп, β_1 бұрышпен шыққанын көріп отырмыз. Түсу және бейнелеу бұрыштарының қатынасы сыбайлас орталардың қасиетінен тәуелді (атап айтқанда, олардың сыну коэффициенттерінен). Егер түсу бұрышы қандай да бір сынарлы шамадан асып кетсе, жарық сәулесі бүтіндей керісінше әйнекте бейнеленеді, ал ауада ешнәрсе болмайды. Сонымен, орталардың шекарасына, сынарлы бұрыштан асып түскен жарық сәулесі талшықтың ішінде тыйым салынған болады да, *2.5 ә-суретте* көрсетілгендей үлкен ара қашықтыққа дерлік шығынсыз тасымалдана алады.



2.5-сурет. Кварцты талшық пен ауаның шекарасында әр түрлі бұрышпен түсетін жарық сәулесінің қайта сынуының үш мысалы (а); толық ішкі бейнеге ұсталған жарық сәулесі (ә)

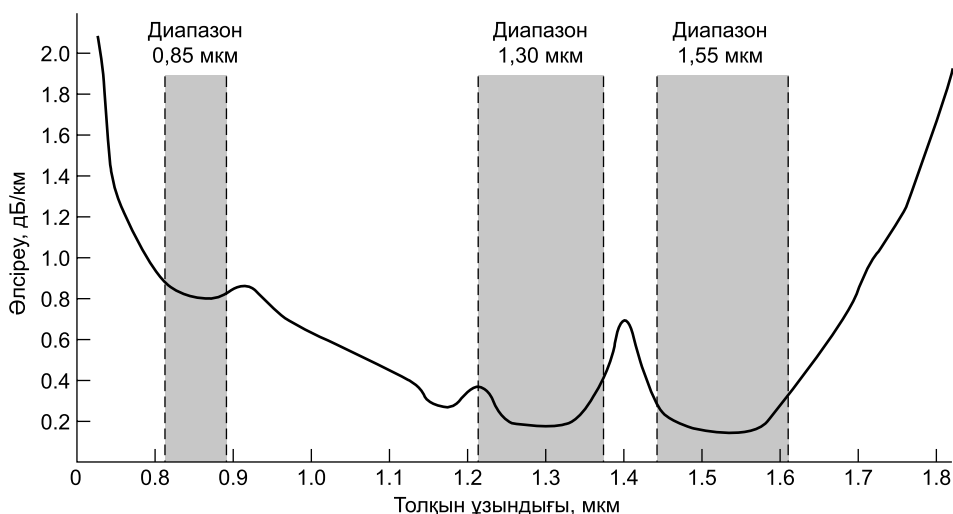
2.2 ә-суретте тек бір ғана ұсталған жарық сәулесі көрсетілген, бірақ түсу бұрышы сынарлы мәннен асып түсетін кез келген жарық сәулесі талшықтың қабырғасынан бейнеленетіндіктен, сәулелер жинағы да бір уақытта әр түрлі бұрыштармен бейнеленетін болады. Әрбір сәуле туралы қандай да бір үлгісі бар дейді, ал бірден бірнеше сәуле тасымалдай алатын, оптикалық талшық көп үлгілі деп аталады.

Бірақ, егер талшықтың диаметрін сәуле толқындарының бірнеше ұзындығына дейін қысқартса, онда талшық толқын арнасы сияқты әрекет жасайды да, жарық талшықтың қабырғасынан бейнеленбей, тура сызықтың бойымен ғана қозғала алады. Мұндай талшық бірүлгілі деп аталады. Ол қымбатырақ тұрады, бірақ деректерді алыс қашықтықтарды тасымалдағанда пайдаланыла алады. Қазіргі таңдағы бірүлгілі талшық сымдары 100 км дейінгі қашықтыққа 100 Гбит/с жылдамдықпен жұмыс істей алады. Лабораторияларда анағұрлым жоғары жылдамдықтар да алынды, шындығында, бірақ аз қашықтықта.

Жарықтың талшық бойымен өтуі

Оптикалық талшық, өз тарапынан арзан өңделмеген, қол жетерлік шексіз саны бар, құмнан өндірілетін әйнектен жасалады. Әйнекті өндіру ежелгі Египет заманынан бері белгілі, бірақ ол кезде мұндай нәтижені алу мүмкін емес еді: жарық әйнекті тесіп өтуі үшін оның қалыңдығы 1 мм аспауы керек. Ғимараттардың терезелері үшін қолданылатындай мөлдір әйнек Өркендеу дәуірінде ойлап табылды. Заманауи оптикалық кабельдер үшін, мұхиттар судан емес әйнектерден тұратын болса, онда мұхиттың түбі ашық күні ұшақ бортынан құрлықтың үстін көріп тұрғандай мөлдір әйнек қолданылады.

Жарық күшінің әйнек арқылы өткенде әлсіреуі толқынның ұзындығынан (сондай-ақ, әйнектің басқа да физикалық қасиеттерінен) тәуелді болады. Ол кірістегі сигналдың қуатының шығыстағы сигналдың қуатына қатынасы түрінде анықталады. Оптикалық талшықта қолданылатын әйнек үшін әлсіреудің толқын ұзындығынан тәуелділігі *2.6-суретте* талшық ұзындығының километріне децибел бойынша берілген. Мысалы, қуаттың екі есе азаюына графикте $10 \log_{10} 2 = 3 \text{ dB}$ сәйкес келеді. Графикте іс жүзінде қолданылатын спектрдің жақын инфрақызыл бөлігі бейнеленген. Көрінетін жарықтың 0.4-0.7 мкм-ге дейін бірнеше анағұрлым қысқа ұзындықты толқындары болады. Дәл атауларды жақтаушылар толқынның ұзындығы нанометрмен өлшенеді дер еді – берілген жағдайда әңгіме 400-700 нм ауқым туралы болып отыр, бірақ біз өзімізге үйреншікті терминді пайдаланатын боламыз.



2.6-сурет. Жарықтың спектрдің инфрақызыл аймағында оптоталшық арқылы өту кезіндегі әлсіреуі

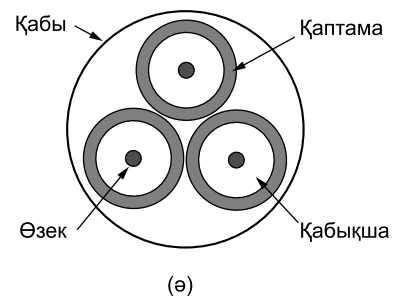
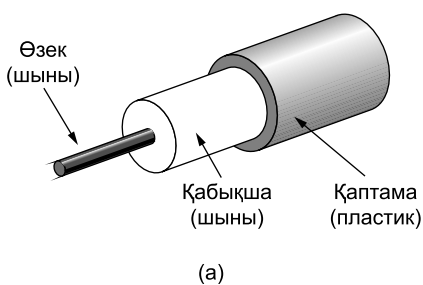
Байланыс жүйелерінде толқын ұзындықтарының үш ауқымы қолданылады: 0.85, 1.30 және 1.55. Барлық үш ауқым да 25 000-30 000 ГГц аралығындағы өткізу

жолағына ие. Алғашқы болып центрі 0.55 мкм болатын ауқым қолданылды. Әлсіреуі анағұрлым жоғары болғандықтан, ол қысқа қашықтыққа тасымалдау үшін қолданылады. Бірақ оның артық жері мұндай ұзындықты толқындар үшін лазер мен электроника бір материалдан жасала алады (галий арсениді). Қалған екі ауқымның әлсіреу бойынша көрсеткіштері жақсы (километрге 5% төмен ысырап). Қазіргі таңда 1.55 мкм ауқым және тура оптикалық доменде жұмыс істейтін эрби қосылған талшықты күшейткіштер кеңінен қолданылуда.

Жарық импульстері олардың талшық бойымен қозғалысында ұзарады. Мұндай ұзару жарық дисперсиясы деп аталады. Ұзару шамасы толқынның ұзындығынан тәуелді. Көршілес кеңейген импульстардың жабылып қалуын болдырмау үшін олардың ара қашықтығын ұлғайтуға болады, бірақ бұл жағдайда тасымалдаудың жылдамдығын азайтуға тура келеді. Бақытқа орай, егер импульстарға арнайы түр беруге болса, атап айтқанда гиперболалық косинусқа қарама қайшы шаманы, онда дисперсия әсерін болдырмауға болады. Бұл жағдайда импульстерді мындаған километрге пішінін бұрмаламай жіберуге болады. Зерттеушілердің көпшілігі жекеленген толқындарды лабораториялық зерттеулерден олардың өнеркәсіптік қолданысына көшуге ниет етуде.

Оптогалшықты кабельдер

Оптогалшықтың құрылымы жоғарыда сипатталған коаксильді сымның құрылымына ұқсас. Айырмашылығы, біріншісінде қалқалаушы тор жоқ. 2.7 а-суретте жеке оптогалшықты желі көрсетілген. Оның ортасында, бойымен жарық тарайтын әйнекті өзек орналасқан. Көпүлгілі оптогалшықта өзектің диаметрі 50 мкм болады, бұл шамамен адам шашының қалыңдығына тең. Бірүлгілі талшықтағы өзектің диаметрі 8-10 мкм аралығында болады.



2.7-сурет. Жеке талшықтың қырынан қарағандағы түрі (а); үшөзекті кабельдің тігінен алғандағы қимасы (ә)

Өзек сыну коэффициенті өзектен анағұрлым төмен әйнек қабатымен жабылған. Ол жарықтың өзектің сыртына таралып кетпеуіне сенімді жол бермеуге арналған. Ішкі қабат шыныланудан қорғайтын пластикалық қабықша. 2.7 ә-суретте үшөзекті кабель көрсетілген.

Әдетте кабельдер топыраққа бір метр тереңдікке орналастырылады да, оларға кеміргіштер мен экскаваторлар байқамай зақым келтіруі әбден мүмкін. Жағалауларда трансмұхиттық кабельдер орларға арнайы механизмдердің көмегімен жатқызылады. Үлкен тереңдікте оларды жай ғана мұхиттың түбіне жатқызады да, бұл жерде де балық аулаушы траулер мен акулалардың кеміріп тастау қаупі бар.

Кабель кесінділерін жалғау үш тәсілмен жүзеге аса алады. Біріншіден, кабельдің соңына арнайы ажыратқыш орнатылады, оның көмегімен кабель оптикалық розеткаға қондырылады. Осындай жалғаулар жарық күшінің 10-20% жоғалуына әкеледі, бірақ ол кескіні үйлескен жүйені оңай өзгертуге мүмкіндік береді.

Екіншіден, олар механикалық түрде тұтастырылуы мүмкін – мұқият кесілген кабельдің соңдары бір-біріне қатар төселенеді де, арнайы жалғастырғышпен қысылады. Жарықтың өтуін жақсартуды кабельдің соңдарын өсіру арқылы жүзеге асыруға болады. Сонымен, жалғасу арқылы жарық өткізіледі де, мақсат шығыстағы сигнал қуатының кірістегі қуатқа максималды сәйкестігіне қол жеткізу болады. Кабельдерді механикалық бір тұтастыру желінің тәжірибелі құрастырушысы үшін 5 минут және нәтижесінде жарық қуатының 10% жоғалуын береді.

Үшіншіден, кабельдің екі кесегі бірге ерітіле алады. Ерітіліп жалғастыру тұтас кабель сияқты жақсы, бірақ бұл тәсілде де жарық қуатының шамалы азаюы орын алады.

Жалғаудың барлық үш түрінде де жалғау нүктесінде бейне пайда болуы мүмкін және бейнеленген жарық сигналмен әсерлесуі мүмкін.

Сигналды оптогалшықты кабель арқылы тасымалдау үшін жарық көзінің екі түрі қолданылады. Олар LED (Light Emitting Diodes – жарық шашушы диодтар) және жартылай өткізгіш лазерлер. *2.2-кестеде* көрсетілгендей олар әр түрлі қасиеттерге ие. Олардың толқындарының ұзындығы, жарық көзі мен кабельдің арасында орналасқан, Фабри-Перо (Fabry-Perot) немесе Маха-Цандера (Mach-Zehnder) интерферометрлерінің көмегімен икемделе алады. Фабри-Перо интерферометрі, параллель екі айнадан тұратын, қарапайым резонансты тереңдікті білдіреді. Жарық айналарға перпендикуляр түседі, тереңдік толқындардың өзінің көлеміне бүтін санды рет кіретіндерін іріктеп алады. Маха-Цандера интерферометрі жарықты әр түрлі қашықтықты жүріп өтетіп шығыста қайтадан қосылатын екі сәулеге бөледі. Интерферометрдің шығысында синфазалықатаң нақты ұзындықты сәулелер болады.

Оптикалық кабельдің қабылдаушы соңы өзіне жарық түскен сәтте электр импульсін тудыратын фотодиод болып саналады. Оптикалық сигналды электр сигналына түрлендіретін фотодиодтың істен шығу уақыты деректерді тасымалдау жылдамдығын 100 Гбит/с шамасына шектейді. Терминалды шу тағы бар, сондықтан жарықтың импульсі, шу аясында оны табатындай, мейлінше қуатты болуы керек. Импульс керегінше қуатты болса, елеуге тұрмайтындай аз ғана жиілікті қатеге қол жеткізуге болады.

2.2-кесте

Жарықдиодтары мен жартылайөткізгіш лазерлердің салыстырмалы мінездемелері

Мінездемесі	Жарық диоды	Жартылай өткізгіш лазерлер
Деректерді тасымалдау жылдамдығы	Төмен	Жоғары
Талшық түрі	Көпүлгілі	Көпүлгілі немесе бір үлгілі
Арақашықтық	жақын	Алыс
Қызмет ету мерзімі	ұзақ	Қысқа
Температураға сезімталдығы	Жоғары емес	Айтарлықтай
Бағасы	Төмен	Жоғары

Оптоталшық пен мыс сымның мінездемелерін салыстыру

Оптоталшық пен мыс сымның мінездемелерін салыстыру аса маңызды. Оптикалық талшықтың бірқатар артықшылықтары бар. Біріншіден, ол мыс сымға қарағанда деректерді тасымалдаудың анағұрлым жоғары жылдамдығын қамтамасыз етеді. Осы қасиетіне орай, жоғары сапалы кәсіби желілерде тек оптикалық талшықтар қолданылуы керек. Әлсіреу коэффициенті төмен болғандықтан оптоталшықты байланыстар үшін қайталауыштар әрбір 50 км қашықтықтан кейін қажет болады. Мыс сымдар үшін бұл көрсеткіш 5 км. Алыс байланыс сымдары үшін бұл шығынды айтарлықтай төмендетеді. Оптикалық талшықтың басымдылығы бірі оның сыртқы электромагнитті ауытқуларға қарағанда оның толеранттығында. Әйнек химиялық бейтарап болғандықтан, ол коррозияға шалдықпайды. Бұл химиялық кәсіпорындардағы қолданыста өте маңызды.

Бұл оғаш болып көрінуі мүмкін, бірақ телефон компаниялары оптикалық талшықты тағы бір себептен жақсы көреді: ол жұқа әрі жеңіл. Арналарға арналған көптеген кабельдер, жаңа кабельді еш жерге орналастыруға мүмкін болмайтындай, шегіне жеткенше толып кеткен. Егер мұндай арнадан барлық мыс сымдарды шығарып алып, оны оптикалық талшықпен алмастырса, онда әлі де болса көп бос орын қалады, ал мысты түсті металдарды сатып алушыларға тиімді бағамен сатуға болар еді. Сонымен қатар, оптикалық кабель мыс сымға қарағанда анағұрлым жеңіл. Ұзындығы 1 км болатын мыстан есілген жұптар 8000 кг тартады. Оптоталшықтың жұбы өткізгіш қабілеті анағұрлым жоғары бола тұра бар болғаны 100 кг тартады, бұл қымбат механикалық жүйелерге кететін шығындарды азайтады. Жаңа маршруттарды салғанда оптоталшықты кабельдер мыс кабельді салуға кеткен шығындардың кемдігі бойынша да ұтады. Ең соңында, оптоталшықты

кабель өзінің өңін жоймайды және оларға қосылу оңай емес, соңғысы олардың сенімділігі мен сақталуына себепші болады.

Оптоталшықты технологияның кері жағы онымен жұмыс істеу үшін арнайы икемділіктің қажеттігінде, инженерлердің барлығы оған ие бола бермейді. Кабель мейлінше нәзік және күрт бұрылыс жерлерде сынып кетеді. Сонымен қатар, деректерді оптикалық тасымалдау қатаң бірбағытталған, екі бағыттағы байланыс үшін не екі кабель немесе бір кабельде екі жиілік жолағы қажет. Десек те, бірнеше километрден артық қашықтықтағы сандық байланыстың келешегі – талшықты оптикамен тығыз байланысты. Оптоталшықты желілердің барлық аспектілері жөнінде Necht (2005) кітабынан таба аласыздар.

2.3. СЫМСЫЗ БАЙЛАНЫС

Біздің заманымызда ақпараттық «нашақорлардың» – үнемі қосылған (on-line) режимде отыруды қажет ететін адамдардың саны көбейіп бара жатыр. Мұндай тұтынушыларды ешқандай кабельдік бірігулер, ол есілген жұп болсын, коаксильді кабель немесе оптикалық талшық болсын, қанағат етпейді. Оларға деректерді тікелей өздерінің дербес компьютерлеріне, лаптоптарына, ноутбуктеріне, электронды есептеуіш кітапшаларына, қалта компьютерлеріне, қолға тағатын сағаттарға кірістірілген палмтоптары мен компьютерлеріне алу керек. Қысқаша айтқанда, олар жер бетіндегі инфрақұрылымдармен байланбаған құрылғыларды пайдалануды ұнатады. Мұндай тұтынушылар үшін сымсыз байланыс қажеттілік болып табылады.

Келесі тарауларда біз сымсыз байланыстың негіздерімен танысатын боламыз. Оның пляжда жатып, Интернетке қосылып оның бойымен қыдыруды жақсы көретіндерге жасайтын қызметінен басқа да бірқатар маңызды қолданыстары бар. Кейбір жағдайларда сымсыз байланыс стационар құрылғылар үшін де өзінің артықшылықтарына ие болуы мүмкін. Мысалы, егер оптоталшықты кабельді салу кейбір табиғи жағдайларға байланысты (таулар, құрайт, батпақты жерлер, т.с.с) қиындайтын болса, онда сымсыз желі артықшылыққа ие болады. Заманауи сымсыз желінің, адамдарды компьютер орталықтарынан Тынық мұхиттың үлкен кеңістіктері бөліп тұрған, ал кәдімгі телефон жүйесінің сапасы жоғары дәрежеде болмаған, Гавай аралында пайда болғанын айта кету керек.

2.3.1. Электромагниттік спектр

Электрондардың қозғалысын, кеңістікте (тіпті, вакуумде) тарай алатын, электромагнитті толқындар тудырады. Бұл құбылысты 1865 жылы Британ физигі Джеймс Клерк Максвелл (James Clerk Maxwell) болжаған болатын. Бұл құбылысты байқауға мүмкін болатын алғашқы экспериментті 1887 жылы неміс физигі Генрих Герц (Heinrich Hertz) қойды. Секундтағы электромагниттік тербелістердің

саны жиілік f деп аталады және герцпен (Генрих Герцтің құрметіне) өлшенеді. Екі тізбекті максимумдардың (немесе минимумдардың) арасындағы арақашықтық **толқынның ұзындығы** деп аталады. Бұл шама әдетте грек әрпі λ (лямбда) арқылы белгіленеді.

Егер электр тізбегіне мөлшері сәйкес келетін антеннаны қосса, онда электромагнитті толқындар қандай да бір қашықтықтағы қабылдағыш ретінде сәтті қолдануға болады. Сымсыз байланыс жүйелерінің барлығы осы принципке негізделген.

Вакуумде барлық электромагниттік толқындар, олардың жиілігінен тәуелсіз, бір жылдамдықпен таралады. Бұл жылдамдық жарық жылдамдығы деп аталады, c . Оның шамасы 3×10^8 м/с немесе наносекундына бір фут (30см) айналасында. (Осы сәйкестікті пайдаланып, футты электромагнитті толқынның вакуумде бір наносекундта жүріп өтетін қашықтығына тең деп анықтауға болар еді. Бұл әрине ұзындықты баяғыда өліп кеткен корольдің етігімен өлшегеннен гөрі қисындырақ болар еді). Мыс немесе әйнекте **жарық жылдамдығы** осы шамаманың $2/3$ бөлігін құрайды, сонымен бірге, азырақ жиілікке де тәуелді. Жарық жылдамдығын заманауи ғылым жылдамдықтардың жоғарғы шегі деп есептейді. Одан жылдам ешқандай сигнал немесе объект қозғала алмайды.

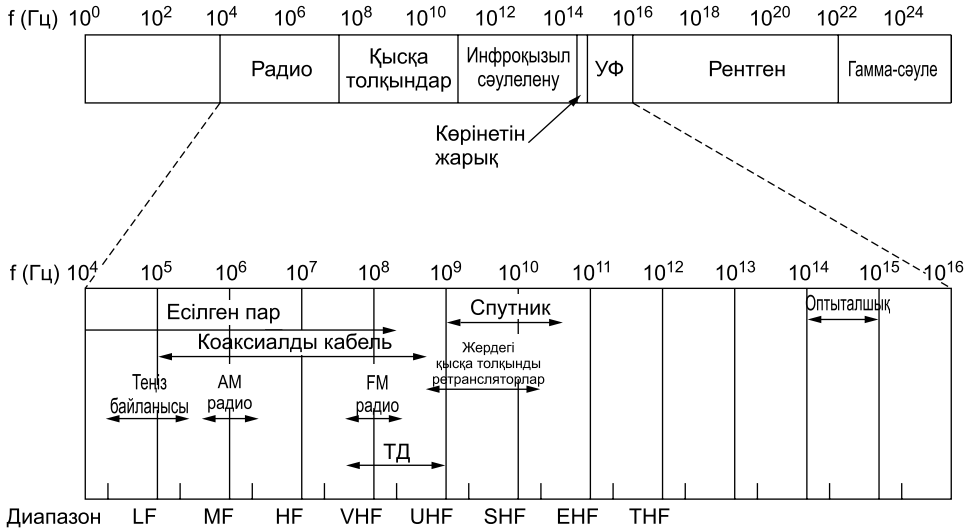
f , λ және c шамалары (вакуумде) келесі фундаменталды қатынаспен байланысқан:

$$\lambda f = c \quad (2.2)$$

c тұрақты болғандықтан, f шамасын білсек, біз λ мәнін анықтай аламыз және керісінше. Егер λ метрмен, ал f мегагерцпен өлшенетін болса, онда $\lambda f = 300$ болады деген мнемоникалық ереже бар. Мысалы, жиілігі Мгц болатын толқындардың ұзындығы шамамен үш метр, 1000 Мгц 0.3 метрге сәйкес, ал ұзындығы 0.1 м толқынға 3000 Мгц жиілік сәйкес келеді.

2.8-суретте электромагнитті спектр бейнеленген. Радио, микротолқындар, инфрақызыл ауқымдар, сондай-ақ көрінетін жарық ақпаратты амплитуданың, жиіліктің немесе толқындардың фазалық модуляциясының көмегімен беруде қолданыла алады. Ультракүлгін, рентген және гамма-шағылыстар олардың жоғары жиіліктерінің арқасында одан әрі жақсаратын еді, бірақ генерациялау мен модуляциялау қиынға соғады, олар ғимараттардан өте нашар өтеді және олар барлық жандылар үшін өте қауіпті. *2.8-суреттің* соңғы бөлігінде келтірілген ауқымдардың, толқындардың ұзындықтарына негізделген, ресми ITU (International Telecommunication Union) аттары бар. Мысалы, LF толқындардың 1-10 км дейін (бұл шамамен 30-300 кГц жиілік ауқымына сәйкес келеді) ұзындығын қамтиды. LF, MF және HF қысқартулары сәйкес Low Frequency (төмен жиілік), Low Medium (орта жиілік), High Frequency (жоғарғы жиілік) ұғымдарын білдіреді. Әрине, есімдер тағайындалған кезде, 10 Мгц шамасынан жоғары болатын жиіліктерді ешкім күткен жоқ, сондықтан анағұрлым жоғары ауқымдар VHF (Very High Frequency-өте жоғары жиілік), UHF (Ultra High Frequency- ультра жоғары жиілік),

SHF (Super High Frequency-тым жоғары жиілік), EHF (Extremely High Frequency – төтенше жоғары жиілік) және THF (Tremendously High Frequency – сұмдық жоғары жиілік) атауларына ие болды. Соңғы ауқымнан жоғарыларына әлі есімдер ойлап табылған жоқ, бірақ егер дәстүрге жүгінсек келешекте жоғары жиіліктің Зәулім (Incredibly), Таңқаларлық (Astonishingly) және Адам шошырлық (Prodigiously) деген аттары (INF, ANF және PHF) пайда болып қалар.



2.8-сурет. Электромагнитті спектр және оның байланыстағы қолданысы

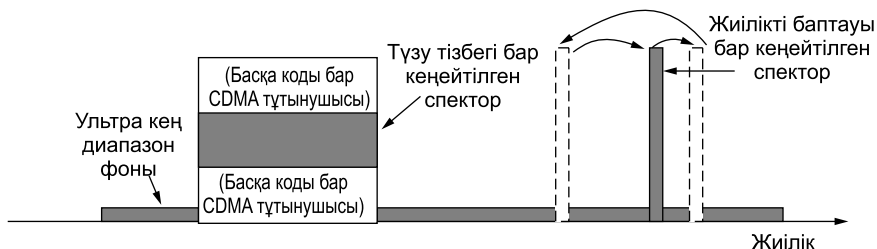
Шеннонның есептеулерінен, электромагнитті толқын сияқты, арна тасымалдай алатын ақпараттың саны қабылдағыштың қуатынан тәуелді және өткізу жолағына пропорционал. 2.8-суреттен желіні өңдеушілердің неге опталшықты байланысты жақсы көретіндері түсінікті болуы керек. Жоғары сапалы ауқымда деректерді тасымалдау үшін, әңгіме әсіресе біздің логарифмдік меженің оң жағында орналасқан оптоалшық туралы болса, ені бірнеше гигагерц болатын кең өткізу жолағы қолжетімді болады. Мысалы, 2.6-суретте бейнеленген 1.30-мк диапазонды қарастырайық, оның ені 0.17 мк. Егер біз ауқым жиіліктерінің бастапқы және соңғы мәндерін (2.2) өрнектің көмегімен табатын болсақ, онда жиілік ауқымының 30 000 ГГц екенін білеміз. Мүмкін болатын 10 Дб «сигнал/шу» қатынасында бұл шама 300 Тбит/с.

Байланыс жүйелерінің көпшілігі салыстырмалы түрде тар жиілік жолақтарын пайдаланады (яғни, $\Delta f / f \ll 1$). Жеткілікті түрдегі қуатты тасымалдау кезінде спектрді тиімді пайдалану үшін және деректерді тасымалдаудың тиімді жылдамдығын қамтамасыз ету үшін сигналдар тар жолақта шоғырланады. Бірақ кейбір жағдайларда кең жолақтар да қолданылады. Бұл кезде үш жағдай орын алуы мүмкін. Ауыстырмалы жиілікті кең спектрді қолданғанда қайтаберіліс жұмыс

жиілігін секундына жүздеген рет өзгертеді. Бұл тәсіл әскери байланыс жүйелерінде жиі қолданылады, себебі мұндай сигналды жаулап алу өте қиынға соғады және өшіріп тастау дерлік мүмкін емес. Сондай-ақ, қабылдағышақаулы жиілікте көп тұрақтамайтындықтанол көпсәулелік өшу мен ден қойылған кедергілерге қарсы қорғанысқа ие, сондықтан тілдесу үзілмейді. Орнықтылық пен сенімділік, әсіресе, спектрдің анағұрлым кемелденген бөліктерінде маңызды, мысалы, біз алдағы уақытта қысқаша тоқталатын ISM жолақтарында. Аталған техника коммерциялық жүйелерде қолданылады, мысалы Bluetooth және 802.11 ескі нұсқаларында.

Жиіліктерді ауыстыру тәсілін ойлап табу тарихымен бір курьез тығыз байланысты. Оны ойлап тапқыштың біреуі кино әлемінде жалаңаш түрде түсірілген – встриялық секс-құдайы Хэди Ламмар (Hedy Lamarr) еді (бұл 1933 жылы түсірілген *Extaseden аталатын чехия фильмі болды*). Оның бірінші күйеуі қару-жарақ сатумен айналысты да, бір кезде Хэдиге торпеданы басқаратын радиосигналдардың оңай жекешеленетіндігін туралы айтып қалды. Оның қару-жарақты Гитлер армиясына сататындығын біліп қойған Хэди ашуға булығып, үй қызметкері киімін киіп, үйінен қашып кеткен. Голливудқа келіп, өзінің актерлық мансабын әрі қарай жалғастырды. Жұмыстан бос уақыттарында алды да жиілікті ауыстыру тәсілін ойлап тапты. Хэди одақ әскерлеріне көмегін тигізуді армандады. Оның жүйесінде пианино клавиштарының санына сәйкес 88 жиілік қолданылды. Өзінің досы, композитор Джордж Антейломмен (George Antheil) бірге өздерінің еңбегін патенттеді (патент №2,292,387). Өкінішке орай, Хэди АҚШ-тың әскери-теңіз флотының жиілікті ауыстырудың тәжірибелік маңызының зор екендігіне көзін жеткізе алмады, сондықтан еңбекке ешқандай қаламақы төленбеді. Тек бірнеше жыл өткен соң, патенттің мерзімі аяқталғаннан кейін, актриса мен композитор ойлап тапқан деректерді тасымалдау тәсілі танымал болды.

Кең жолақты жиілікті пайдаланатын тағы бір тәсіл тура тізбекті кеңейтілген спектр деп аталады. Кодты тізбек деректер сигналдарын анағұрлым кең жиілік жолақтары бойымен тарату үшін қолданылады. Бір жиілік жолағының ішінде бірнеше сигналды тиімді тасымалдауға мүмкіндік беретіндіктен, бұл тәсіл коммерциялық жүйелерде кеңінен қолданылады. Сигналдарға әр түрлі кодтарды меншіктеуге болады. Бұл тәсіл **CDMA (Code Division Multiple Access**, көпқолжетімді арнаны кодты тарату) деп аталады. Ол туралы біз осы тараудың соңында айтатын боламыз. *2.9-суретте* берілген тәсілдің жиілікті ауыстыру тәсілінен айырмашылығы көрсетілген. Оның 3G ұялы телефон жүйелерінің негізін құрайтынын, сондай-ақ GPS (Global Positioning System, координаттарды анықтаудың глобалды жүйесі) жүйелерінде қолданылатынын айта кету керек. Жиілікті ауыстырушы кеңейтілген фильтр сияқты тура тізбекті кеңейтілген фильтр де кодтар тағайындалмаса да, сигналдың тек бір бөлігі ғана жоғалатындықтар, денқойылған кедергілер мен көпсәулелі қатып қалуға төзімді болады. Сондықтан да ол 802.11b ескі сымсыз желілерде қолданылады. Кеңейтілген спектрлі байланыс құралдары туралы қызықты да тереңірек деректерді Scholtz (1982) кітабынан көресіздер.



2.9-сурет. Кеңейтілген спектр және деректерді кең ауқымды өткізу жолағы бойымен тасымалдау

Деректерді кең жолақта тасымалдаудың үшінші тәсілі **UWB-коммуникация** немесе **ультракең ауқымдағы коммуникация** деп аталады. Ақпаратты қайта сілтеу үшін, өзінің орнын ауыстыратын, қысқа импульстер тізбегі жіберіледі. Қысқа импульстердің орасан зор саны өте кең жиіліктер жолағында таралатын сигналды қалыптастырады. UWB-коммуникацияның өткізу жолағы минимум 500 МГц немесе сәйкес жиілік жолағының орта жиілік мәнінің минимум 20% құрайды. 2.9-сурет сондай-ақ UWB-коммуникацияны да сипаттайды. Осындай өткізу жолағы арқылы деректерді өте жоғары жылдамдықпен тасымалдауға болады. Жиіліктің кең диапазоны бойынша тарату сигналға басқа тар жолақты сигналдар тарапынан болатын салыстырмалы түрде күшті кедергілердің санына төтеп беруге мүмкіндік жасайды. Деректерді қысқа қашықтыққа тасымалдауда UWB-тасымалдаушының әрбір нақты жиілікте қуаты шамалы сигналды шағылыстыратыны да маңызды, ол тар жолақты радиосигналдар үшін айтарлықтар кедергілер туғызбайды. Басқа сигналдармен салыстырғанда UWB-тасымалдау фондық болып қалады. Осындай бейбіт өмір сүрудің арқасында желілердің жаңа түрі (PAN, Personal Area Network) пайда болды. UWB-коммуникацияны қатты бөгеттердің артында (жер, қабырғалар, адамдар мен жануарлардың денесі) орналасқан объектінің бейнесін алу үшін, сондай-ақ орналасқан жерді дәл табу жүйелерінде пайдалануға болады.

Енді, 2.8-суретте көрсетілген электромагнитті спектрдің әр түрлі бөліктерінің қолданысын радиобайланыстан бастап қарастырамыз. Егер басқаша көрсетілмеген болса, деректерді тасымалдау тар жолақты жиілікте жүзеге асады деп есептейміз.

2.3.2. Радиобайланыс

Радиобайланысты оңай генерациялауға болады, олар үлкен арақашықтықты игере алады, қабырғалардан өтіп, ғимараттарды ие алады, сондықтан олардың қолданыс аймағы айтарлықтай кең. Сонымен қатар, радиотолқындар бір уақытта барлық бағытта тарай алады, сондықтан төмен жиіліктер үшін беруші және қабылдаушы антенналарын мұқият жүргізудің қажеті жоқ.

Кейбір жағдайларда радиотолқындардың осы қасиеті ыңғайлы, бірақ кейбір

жағдайларда қажет емес. 1970 жылы General Motors компаниясы тежеуіштің антиблоктау жүйесін компьютер арқылы басқаруға болатын «Кадиллак» жаңа автомобилін шығаруды қолға алды. Жүргізуші тежеуіш педальін басқан кезде, компьютер, тормоздар блоктанбас үшін, тежеуішті қосу және өшіру командалары импульстарын береді. Бір күні, Огайо штатының жолын тексеруші полиция өзінің бөлімшесімен жаңа портативті радиостанцияның көмегімен байланыспақшы болды. Сол сәтте онымен қатар келе жатқан «Кадиллак» жабайы ат сияқты шауып кетті. Офицер машинаны тоқтатқан кезде жүргізуші машинаның өзінен өзі, ол ешқандай әрекет жасамаса да, жынданып кеткенін айтып ант ішті.

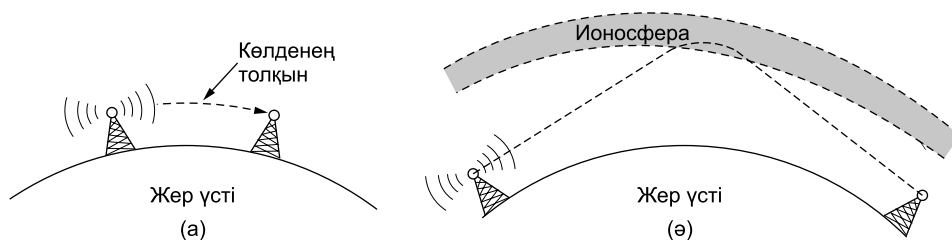
Осындай жағдайлар қайталана бастады: «Кадиллактар» тек Огайо штатының басты автожолдарында және тек жол полициясы қадағалаған сәтте жынданып кететін болды. Біраз уақыт General Motors компаниясы неге барлық басқа штаттарда және Огайоға баратын шағын жолдарда «Кадиллактар» өзін тамаша ұстайтындарын түсіне алмай қойды. Тек ұзақ та табанды зерттеулерден кейін «Кадиллактың» өткізгішінің Огайо штатының жол патрулінің пайдаланатын жаңа радиожүйесінің жиіліктері үшін тамаша антенна екендігін байқады.

Радиотолқындардың қасиеті жиіліктен тәуелді болады. Төменгі жиілікте жұмыс істегенде радиотолқындар кедергілерден жақсы өтеді, бірақ сигналдың қуаты ауада қайтаберілістен алыстаған сайын оқыс түсіп кетеді. Қуат пен қайнар көзден алыстау қатынасы шамамен $1/r^2$ болады. Сигналдың энергиясы үлкен беттерде анағұрлым жұқа қабат болып таралады. Мұндай әлсіздену траекториядағы шығын деп аталады. Жоғары жиіліктерде радиотолқындар тек тура сызықтың бойымен таралады және кедергілерден бейнеленеді. Траекторияларда орын алатын шығындар қуатты кемітеді, бірақ алынған сигнал да бейнеден өте қатты тәуелді болуы мүмкін. Жоғары жиілікті радиотолқындар төменгі жиіліктегі қарағанда жаңбыр немесе басқа кедергілерге анағұрлым күшті жұтылып кетеді. Кез келген жиіліктің радиосигналдары жарық шашатын шөткелері бар қозғалтқыштарының немесе басқа да электр құралдары тарапынан кедергілерге зақымданған.

Радиотолқындардың әлсіреуін өткізгіш орталарындағы сигналдардың әлсіреуімен салыстыру қызықты. Оптоталшық, коаксильді кабель және есілген жұпта сигнал арақашықтыққа пропорционал әлсірейді, мысалы есілген жұп үшін бұл әрбір 100 м үшін 20 дБ. Радиосигнал болса арақашықтық квадратына пропорционал әлсірейді, мысалы ара қашықтық бос кеңістікте ұлғайғанда 6 дБ болады. Бұл радиотолқындар үлкен ара қашықтықта тарай алады және бірауақытта жұмыс істеп отырған тұтынушылар жіберетін өзара кедергілер салмақты мәселені тудырады дегенді білдіреді. Сондықтан барлық мемлекеттер радиоберушіелерінің, кейбір маңызды нәрселерді санамағанда, қатаң есебін жүргізеді (олар туралы төменде талқыланады).

VLF, LF және MF диапазондарында радиотолқындар, *2.10 а-суретте* көрсетілгендей жер бетін орайды. Бұл толқындарды радиоқабылдағыштар арқылы, егер төмен жиілік пайдаланылса, 1000 км арақашықтық айналасында, егер жиілік жоғары болса одан кіші арақашықтықта ұстауға болады. Амплитудалық модуляциялы (AM) радиохабарламалар орташа толқындар диапазонын пайдаланады, сол

себепті Бостонның ортатолқындық радиобайланысының хабарлары Нью-Йоркте естілмейді. Бұл диапазондардың радиотолқындары ғимараттардан жеңіл өтіп кетеді, соның салдарынан алып жүрілетін радиоқабылдағыштар ғимараттың ішінде де жұмыс істей береді. Бұл диапазондарды деректерді тасымалдауда пайдаланудағы негізгі кедергілер олардың салыстырмалы түрдегі төмен өткізгіш мүмкіндіктері болып табылады (2.2-өрнекті қараңыз).



2.10-сурет. VLF, LF және MF диапазондарының толқындары жер бетінің тегіс емес жерлерін орайды (а); HF диапазондарының толқындары ионосферадан бейнеленеді (ә)

HF және VHF диапазондарының радиотолқындарын жер жұтып қояды. Бірақ олардың зарядталған бөлшектерден құралған, 100-ден 500 км дейінгі биіктікте орналасқан, ионосфераға дейін жеткендері ол арқылы бейнеленеді де *2.10 ә-суретте* көрсетілгендей кері, жердің бетіне жіберіледі. Арнайы атмосфералық жағдайларда сигнал бірнеше рет бейнеленуі мүмкін. Радиосүйгіштер мұндай диапазондарды алыс байланыстар үшін пайдаланады. Әскерилер де байланысты HF және VHF диапазондарында жүзеге асырады.

2.3.3. Микротолқындық диапазондағы байланыстар

100 МГц жоғары жиілікте радиотолқындар дерлік түзудің бойымен таралады, сондықтан олар тар шөкімдерге фокустала алады. Параболалық антеннаның (барлығына белгілі спутниктік теледидарлық тәрелке сияқты) көмегімен энергияның тар шөкім түрінде концентрациялануы сигнал/шу қатынасының жақсаруына алып келеді, бірақ мұндай байланыс үшін жіберуші және қабылдаушы антенналар бір-біріне жеткілікті түрде дәл бағытталулары тиіс. Сонымен қатар, мұндай бағытталу бір қатарда орналасқан бірнеше жіберушілерді қолдануға мүмкіндік береді. Олардан таралған сигналдар дәл осылай бір қатарда орналасқан антенналар арқылы өзара кедергісіз қабылданады. Опоталшықты байланысты ойлап таппастан бұрын осындай микротолқындық антенналар ондаған жылдар бойы қалааралық телефон байланысының негізін құрады. Шын мәнісінде, AT&T компаниясының негізгі бәсекелесінің бірі MCI сигналды бір мұнарадан екіншісіне тасымалдайтын микротолқындық байланыстың бүтіндей бір жүйесін

тұрғызды. Антенналар арасындағы қашықтық ондаған километрді құрады. Бұл технология компания атауында да өз бейнесін тапты: MCI қалааралық байланыс операторының аббревиатурасы бастапқыда Microwave Communications, Inc болып шифрден шығарылған.

Содан бері MCI оптоалшықты желіге көшіп үлгерді және көптеген корпоративті бірігулер мен банкроттардан соң коммуникация саласында Verizon компаниясының бөлігіне айналды.

Микротолқындар қатаң сызық бойымен таралады, сондықтан антенналар бір-бірінен тым қашықтықта орналасқанда сигналдың жүру жолында жер үсті кездесуі мүмкін (мысалы, жіберушіні Сиэтлде, ал қабылдағышты Амстердамда орналастырса осылай болады). Яғни, сигналдың жолында қайталауыштар кездесуі керек. Ретрансляция мұнаралары биік болған сайын олардың ара қашықтығы үлкен болуы мүмкін. Қайталауыштар арасындағы максималды қашықтықты тұрпайы түрде олардың биіктігінен алынған квадрат түбір ретінде бағалауға болады. Ретранслятор биіктігі 100 м құраса, олардың арасындағы қашықтық 80 км маңайында болады.

Анағұрлым төмен жиілікті радиотолқындардан айырмашылығы микротолқындар ғимараттардан нашар өтеді. Сонымен қатар, қабылдаушы антеннадағы сәуленің шоғырлануы дәл болса да кеңістік арасынан өткен кезде сәуле диаметр жағынан анағұрлым кеңейеді. Толқындардың бір бөлігі атмосфера қабаттарымен бейнелене алады, соның арқасында бейнеленген толқындар өзінің антеннаға барар жолында, тура толқынға қарағанда, үлкен ара қашықтықты жүріп өтеді. Бұл біріншісі соңғысынан фаза бойынша ерекшеленеді дегенді білдіреді, ал ол сигналдың әлсіреуіне әкелуі мүмкін. Мұндай маңыз көпсәулелі сөну деп аталады да, көптеген жағдайларда нағыз мәселе болып табылады. Мұндай маңыздың болуы ауа райы мен жиілікке байланысты. Кейбір байланыс операторлары өзінің арналарының шамамен 10% бос күйінде ұстайды және қандай да бір жиілікте көпсәулелі сөну пайда болған жағдайда оларға уақытша қосылады.

Жиіліктердің үлкен диапазонына деген өспелі қажеттілік технологияны үнемі жетілдіріп отыруға мәжбүрлейді, соның арқасында байланыс үшін өспелі жоғары жиіліктер пайдаланылуда. 10 ГГц дейінгі жиіліктер диапазондары енді анағұрлым кеңінен қолданылады, бірақ жиілік 4 ГГц болған жағдайда тағы бір жаңа мәселе туындайды: сумен жұтылу. Мұндай жиілікте толқындардың ұзындығы бар болғаны бірнеше сантиметр ғана болады да, мұндай толқындарды жауын жұтып қояды. Мұндай тиімділік қасынан ұшып бара жатқан құстарды қуыруға арналған алып сыртқы микропешті салушыға ғана қолайлы болуы мүмкін, бірақ ол радиобайланыс саласында үлкен мәселені туғызады. Әзірше жалғыз шешім жауын жолағын қиып өтетін байланыс сызығын өшіріп, айналыстағы жолдарға қосылу болып тұр.

Микротолқындық радиобайланыс халықаралық телефонияда, ұялы телефондарда, телетаралу және басқа да салаларда кеңінен қолданыла бастағалы соншалық, спектр енінің жетіспеушілігі қатты біліне бастады. Берілген байланыстың оптоалшыққа қарағанда бірқатар артықшылықтары бар. Олардың ең бастысы – кабельді төсеудің қажетінің жоқтығы, осыған сәйкес сигнал жолын-

да жерді жалдаған үшін ақша төлеудің қажеті жоқ. Әрбір 50 км сайын аз ғана жер сатып алып, сол жерде ретрансляциялық антеннаны орнатса жеткілікті, осылайша телефондық кабельді жүйелерді айналып өтуге болады. Осы себепті MCI корпорациясы халықаралық байланыс жүйесіне жылдам еніп кетті. AT&T компаниясының бәсекелесі болған Sprint мемлекеттік реттеу әлсізденгеннен кейін басқа жолмен кетті: жолдың үлкен бөлігіне құқықтық меншігі бар Оңтүстік Тынықмұхиттық (Southern Pacific Railroad) темір жолымен құрылды да, теміржолдық полотноның жанынан кабельді жай ғана көме салды.

Сонымен қатар, микротолқындық байланыс салыстырмалы түрде арзан болып табылады. Әрқайсысының антеннасы бар екі примитивті антеннаны орнату (бұл төрт созудағы қарапайым үлкен бағаналар бола алады) тұрғындары көп қалалық жер немесе тауларда ұзындығы 50 км болатын кабельді жүргізуден гөрі арзанға түсетіні сөзсіз. Бұл телефон компаниясынан, әсіресе ол оптоалшыққа ауыстырған мыс сымдары үшін әлі есеп айырыспаған болса, оптоалшықты сымды жалға алу-дан да арзанға түседі.

Жиіліктерді таратудың саясаты

Жиіліктерді пайдаланған кезде анархияның алдын алу мақсатында оларды таратуға қатысты нақты ұлттық және халықаралық келісімдер қарастырылған. Әрине, барлығы байланыстың максималы түрде жылдам болғанын қалайды, сондықтан әркім өзінде максималды кең спектрін алғысы келеді. Ұлттық үкіметтер жиілікті АМ және FM-радиостанцияларын теле-дидармен, ұялы байланыс операторларымен, телефон компанияларымен, полициямен, әскерилермен, әкімшілікпен тағы да басқа клиенттермен бөліседі. ITU-R (WRC) халықаралық агенттігі жер шарының кез келген нүктесінде жұмыс істей алатын құрылғыларды шығарып әр түрлі құрылымдардың әрекетін бір мәмлеге келтіргісі келеді. Десе де, ITU-R, амалдарын орындау міндетті емес. Мысалы, АҚШ-та жиілік диапазо-ндарын үлестіруші байланыс жөніндегі FCC (Federal Communication Commission) комиссиясы кей жағдайларда осы ұсыныстарды пайдаланады, мысалы қандай да бір ықпалды топқа спектрдің нақты бір бөлігі қажет болған кезде.

Егер қандай да бір диапазон нақты бір мақсаттарға (мысалы, ұялы байланысқа) бөлінсе, байланыс операторлары арасында диапазонның ішінде жиіліктерді қалай тарату керек деген сұрақ туындайды. Ертеректе үш алгоритм кеңінен қолданылатын еді. Біріншісі, ол көбінесе сұлулық конкурсы деп аталатын, тек олардың ғана ұсынған сервисі қоғамның қажетіне жауап бере алады деп дәлелдеді. Сонан соң «қазылар алқасы» кімнің ұсынысының жақсы екендігін шешетін. Әкімшіліктің қол шоқпары ретінде жүретін бұл бағыт тек парақорлықтың дамуына алып келетін. Сонымен қатар, қандай да бір әділ шенеулік, шетел компаниясының ұлттық компанияға қарағанда мемлекетке көп пайда түсіретінін білсе, онда оның бұл жағдайды дәлелдеуіне ұзақ уақыт қажет еді.

Мұндай байқаулар ақыр соңында балама алгоритмнің – спектрлі бөліштегі өзінің еншісін алғысы келетін компаниялардың арасында кәдімгі лотереяның

пайда болуына алып келді. Бұл жердегі мәселе лотереяға ешқандай жиілікке қызығушылығы жоқ фирмалар да қатыса алатын еді. Мысалы, егер нақты диапазон қандай да бір ірі ресторанды тисе, ол еш тәуекелсіз оны тиімді түрде сата салатын еді.

Бұл алгоритм кез келген адам ұта алатындықтан сынаққа түсті. Нәтижесінде үшінші алгоритм – аукцион пайда болды. Аукцион саудаларын-да кім үлкен сома ұсынса, сол ұтысқа ие болатын еді. 2000 жылы Британ үкіметі үшінші ұрпақты ұялы байланыс операторлары арасында аукцион өткізген кезде табыстың күтілген сомасы 4 млрд. доллар еді. Өз бизнесінің келешегі үшін ұялы байланыс бизнесінен кетуден гөрі өлімді артық көрген операторлардың таласынан кейін 40 млрд. долларды құрады. Ешқандай күш жұмсамай-ақ мол табыс әкелетін бұл құбылыс басқа елдердің де үкіметін қызықтырды. Аукционды жүйеге көптеген компаниялар өтті және ол өзінің соңында бір сәтте банкрот шегінде қалған компанияларды қалдыра отыра жұмыс істей берді. Ең жақсы деген күнде, жиілікті ұтып алған компанияларға өздерінің қарыздарынан құтылу үшін бірнеше жыл қажет болады.

Келесі тәсіл мүлдем басқаша: жиілікті мүлдем таратпау керек. Әркім өзіне ұнаған жиілікте жұмыс істей берсін, бірақ сигналдар бір-біріне қабаттаспайтындай өздерінің қайтаберілгіштерінің қуатын қадағалап отырсын. Осы принципке сәйкес ISM (Industrial, Scientific, Medical, яғни өндірістік, ғылыми, медициналық) деп аталатын бірнеше жиілік диапазонын бөлу шешілді. Бұл диапазондарда жұмыс істеу үшін арнайы лицензияның қажеті жоқ. Гараждың есігін ашатын құрылғылар, үй радиотелефондары, радиобасқарымды ойыншықтар, сымсыз тышқандар және көптеген басқалары ISM жүйесінде жұмыс істейді. Тәуелсіз құрылғылардың арасында интерференцияны азайту үшін FCC комиссиясы оларға шығатын қуатты шектеуді және кеңейтілген спектр бойынша сигналдарды таратудың басқа техникаларын қолдануды ұсынады. Сонымен қатар, құрылғыларды шығарушылар радиолокациялы құрылғылармен шиеленісуді болдырмауды ойластыру қажет болады.

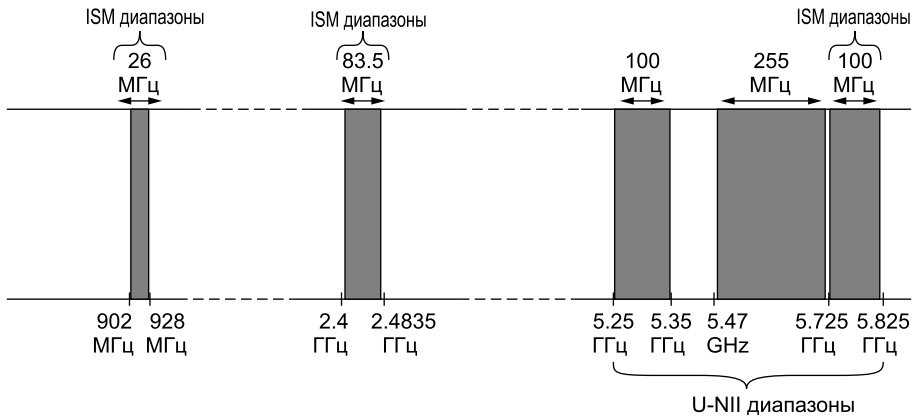
ISM жүйесінің нақты диапазоны әр елде әртүрлі. Мысалы, АҚШ-та желілік құрылғылар FCC лицензиясыз-ақ *2.11-суретте* көрсетілген диапазонды пайдалана алады. 900 МГц диапазоны 802.11 стандарты бойынша жұмыс істейтін құрылғылардың бастапқы нұсқалары үшін қолданылды, бірақ бүгінгі таңда ол тым жүктелген. 2,4 ГГц диапазоны көптеген елдерде жұмыс істейді және 102.11 b/g мен Bluetooth стандарттары бойынша тасымалдау үшін қолданылады, бірақ микротолқынды пештер мен радар құрылғыларының кедергілеріне қауқарсыз. 5,5 ГГц маңайындағы спектрдің бір бөлігі U-NII диапазонын қамтиды (Unlicensed National Information Infrastructure, лицензияланбаған ұлттық ақпараттық құрылым). Олар өз дамуының бастапқы кезеңінде тұр, бірақ кең жолақты өткізу мен 802.11a желілерінің ыңғайлылығына байланысты танымал бола бастады.

ISM – band бұл ISM диапазоны. Ал U-NII bands бұл U-NII диапазондары. MHz-МГц; GHz- ГГц. Алдыңғы басылымдағы сияқты сол жақ жоғарыда «Жолақтың ені», ал сол жақ төменде «Жиілік» сөздерін қосқан жөн.

Лицензияланбаған диапазондар соңғы кездері аса танымал болып кетті.

Спектр жиіліктерін еркін пайдалану мүмкіндігі сымсыз локальді және жеке желілер саласындағы жаңалықтардың орасан зор санын туғызды, жеке жағдайда 802.11 және Bluetooth технологияларының дамуына түрткі болды. Бірақ даму-ды жалғастыру үшін мол жиілік керек. АҚШ-та алға жылжудың үлкен қадамы, 2009 жылы қабылданған, FCC шешімі болды. Бұл шешімге байланысты, 700 МГц жиілігінің маңайындағы толмаған кеңістікті пайдалануға рұқсат етілді. Бос кеңістік – бұл жергілікті пайдаланылмайтын жиіліктердің бөлініп алынған диа-пазондары.

АҚШ-та телехабарды аналогтық таратудан сандық таратуға көшу 2010 жылы 700 МГц жиілік айналасындағы кеңістікті босатты. Осыған байланысты бір ғана мәселе, ол лицензиясы жоқ құрылғылар лицензиясы бар, жақын жерде орналасқан, барлық хабарлағыштарды, берілген жиіліктер диапазонын қолдануға басым құқығы бар сымсыз микрофондарды қоса, тани білуі керек.



2.11-сурет. АҚШ-та сымсыз құрылғылар арқылы қолданылатын ISM, U-NII диапазондары

Ретсіздік 60 ГГц диапазонының маңайында да байқалады. 2001 жылы FCC лицензияланбаған қолданыс үшін 57-ден 64 ГГц дейінгі жолақты ашты. Бұл мөлшері ISM-нің басқа барлық диапазондарын қосып алғандағыдан асатын спектрдің үлкен бір бөлігі, сондықтан оның жоғары жылдамдықты желілерге қызмет етуге және сіздің қонақжай бөлмеңіздің аясында жоғары дәлдікті теледидар деректерін сымсыз тасымалдау есебін шешуге шамасы жеткілікті. 60 ГГц жиілікте микротолқындарды оттегі жұтып қояды. Бұл сигналдар алысқа тарай алмайды, яғни кішкене радиусты желілерде жұмыс істеу мүмкін дегенді білдіреді. Жоғары жиіліктер (60 ГГц – бұл төтенше жоғары жиілік, EHF немесе «миллиметрлік» диа-пазон, тура инфрақызыл сәулеленудің астында) бастапқыда өндірістік құралдар игеру үшін жеткілікті түрде күрделі болды, бірақ бүгінде өнім нарықты жаулап алды.

2.3.4. Инфрақызыл диапазонда тасымалдау

Кабельді пайдаланбайтын инфрақызыл сәулелену кішкене ара қашықтықтағы байланыс үшін кеңінен қолданылады. Теледидар, видеомагнитофондар және стереоаппаратураға арналған алыстан басқару пульттері инфрақызыл сәулеленуге негізделген. Олар салыстырмалы түрде бағытталған, арзан және оңай орнатылады, бірақ бір айтарлықтай кемшілігі бар: инфрақызыл сәулелену қатты объекіден (теледидар мен пульттің арасына тұрып көріңіз) өтпейді. Біз ұзын радиотолқындарды қарастырудан бастадық және біртіндеп көрнекі жарыққа жылжып келеміз, инфрақызыл толқындар радиотолқындарды аз еске түсіреді және өздерін жарық сияқты ұстайды.

Екінші жағынан, инфрақызыл толқындардың қабырғалардан өтпейтіндігі оң болып табылады. Бұл инфрақызыл жүйе ғимараттың бір бөлігінде көршілес бөлмедегі ұқсас жүйемен интерференцияламайды, сіз бақытыңызға орай, өзіңіздің пультіңізбен көршіңіздің теледидарын басқара алмайсыз. Сонымен қатар, бұл инфрақызыл жүйені радиожүйемен салыстырғанда тындаудан сақтайды. Сол себепті инфрақызыл байланыс жүйесін пайдалану үшін, радиобайланыстан ерекшелігі (ISM диапазондарынан басқа), мемлекеттік лицензия қажет емес. Инфрақызыл диапазондағы байланыс үстел үстіндегі есептегіш жүйелерде қолданылады (мысалы, IrDA (Infrared Data Association, деректерді инфрақызыл тасымалдау ассоциациясы) стандарттарын қолдайтын ноутбуктердің принтермен байланысын орнату үшін), дегенмен телекоммуникация үшін аса маңызды рөл ойнамайды.

2.3.5. Көрінетін диапазондағы байланыс

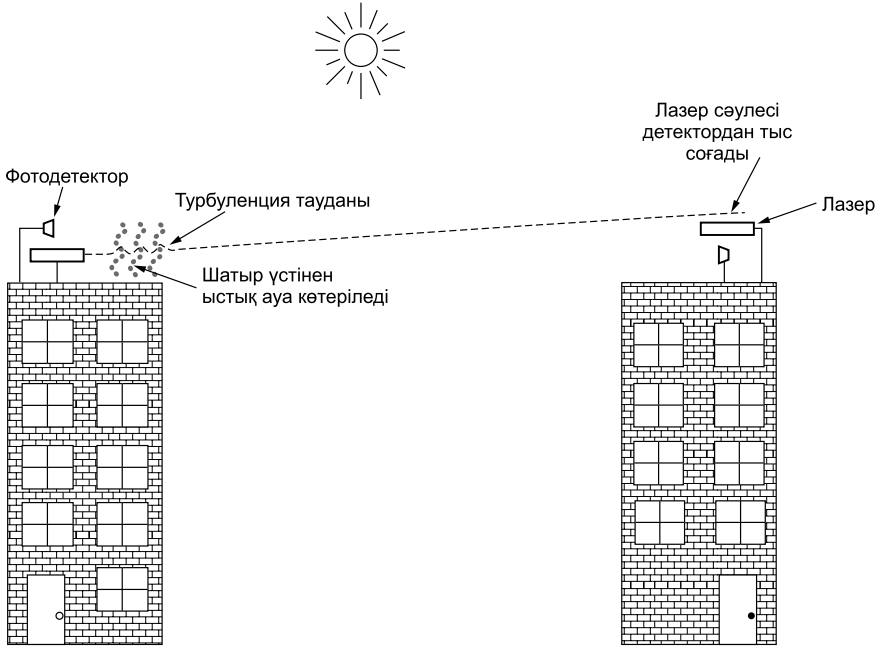
Сымсыз оптикалық сигналдар немесе бос кеңістіктегі оптикалық сигналдар бірнеше ғасырлар бойы қолданылып келді. Азаттық үшін американдық соғысының батыры Пол Ревер (Paul Revere) 1775 жылы Бостонда, халықты ағылшындардың шабуылынан Кәрі Солтүстік шіркеудің (Old North Church) қоңырауханасынан құлағдар ету үшін, екілік оптикалық сигналдарды пайдаланды. Екі ғимараттың локальді желілерін шатырда орналасқан лазерлердің көмегімен жалғау анағұрлым заманауи қосымша болып табылады. Лазердің көмегімен оптикалық байланыстыру тек бірбағытталған болып табылады, сондықтан екіжақты байланыс үшін әрбір жақта бір лазерден және бір фотодетектордан орнату керек. Мұндай технология бағасы тым төмен жағдайда өткізгіш қабілеті өте жақсы және салыстырмалы түрде жоғары қауіпсіздікті ұйымдастыруға мүмкіндік береді, себебі жіңішке лазерлік сәулені қолға түсіру өте қиын. Сонымен бірге, мұндай жүйе жеткілікті түрде оңай жөнделеді және микротолқындық желіден айырмашылығы FCC (АҚШ-тың Федералды байланыс комиссиясы) лицензиясын қажет етпейді.

Күш пен тар сәуле лазердің күшті жақтары болып табылады, бірақ олар да кейбір мәселелерді туғызады. 500 м арақашықтықта диаметрі 1 мм болатын

нысанаға миллиметрлік сәулемен тигізу үшін жоғары сынамалы мергендік өнер қажет. Әдетте лазерлерге сәулені шамалы орталықтандыудан шығару үшін линзалар орнатылады. Есепті тағы да қиындату үшін, жел мен температураның өзгерісі сәулеге ақау түсіруге зейін. Сонымен қатар, ашық күндері лазерлік сәулелер тамаша жұмыс істегенмен, олар жаңбыр немесе қалың тұманнан өте алмайды. Дегенмен аталған факторлардың көпшілігі, екі космостық станцияның арасында деректерді тасымалдау мәселесі туындағанда, өзінің мағынасын жояды.

Бір күні авторлардың біреуі заманауи қонақ үйінде өткен конференцияға қатысқан болатын. Ол жерде конференцияны ұйымдастырушылар қызықсыз презентациялар кезінде қатысушылар өздерінің электронды пошталарын оқи алатындай терминалдар толып тұрған бөлмені үлкен ілтисипатпен ұсынған болатын. Жергілікті телефон станциясы бар болғаны үш күн үшін телефон сымдарының көптеген санын орнатқысы келмегендіктен, ұйымдастырушылар шатырда лазер орнатты да, оны бірнеше километр ара қашықтықта орналасқан университеттің компьютерлік орталығы орналасқан ғимаратқа бағыттады. Конференция алдындағы түні олар байланысты тексерді – барлығы тамаша жұмыс істеп тұр. Келесі ашық, жайма-шуақ күні сағат 9-да байланыс толығымен жоғалып кетті де, күні бойы болмады. Осы жағдай келесі екі күн де қайталанды. Конференция аяқталған соң, ұйымдастырушылар бұл мәселені талқыға салды. Нәтижесінде, күндіз күннің шатырды қыздырғаны, ыстық ауаның одан көтеріліп детектордың айналасында билей бастаған лазерлік сәулені қабылдамағандығы анықталды (*2.12-сурет*). Мұндай құбылысты қарусыз көзбен ыстық күні тас жолда немесе автомобильдің ыстық радиаторының үстінен де байқауға болады. Бұдан қандай сабақ алуға болады? Күш жігерді есепті қиын жағдайларда шешуде ғана салмау керек. Тіпті жақсы жағдайларда да сымсыз оптикалық байланыс жүйелерін мүмкін болатын кемшіліктерді ескере отырып жобалау керек.

Қазіргі жағдайлардағы сымсыз оптикалық байланыс әлдебір экзотикалық технология болып көрінуі мүмкін, бірақ оның әлеуеті зор. Біз камералармен (жарықты ажырататын) және дисплейлармен (жарықдиодтары және басқа құрылғылардың көмегімен жарық шашатын) қоршалғанбыз. Деректермен алмасуды осындай дисплейлердің негізінде ұйымдастыруға болады. Жарықдиодтары адамның көзі көре алмайтын жарықты шаша отыра нақты шаблон бойынша қосылып, айырылатын болады. Өзінің табиғатында көрінетін жарық технологиясының негізіндегі коммуникация қауіпсіз; дисплеймен өте жақын болғанда, ыңғайлы төмен жылдамдықты желі құрылады. Басты рөлде осы технология ойнайтын көптеген ғажап сценарийлерді ойлап табуға болады. Жедел қызмет автомобильдерінің жанып өшуі жолды босатуға көмек алу үшін жақын жердегі бағдаршамға сигналдарды бере алады. Ақпараттық тактаға шынайы уақыттағы деректері бар карталарды шығарып қоюға болады. Тіпті мерекелік гүл тізбектерін музыканы, жанып-өшкіш оттармен, синхронды түрде жаңғырту үшін қолдануға болады.



2.12-сурет. Конвекциялы ағындар лазерлік байланыс жүйесімен жұмыс істеуге кедергі болады. Суретте екілазерлі бағыттаушы жүйе бейнеленген

2.4. БАЙЛАНЫС СЕРІКТЕРІ

1950 жылдары және 60-шы жылдардың басында адамдар байланысты металдық метеозондтардан бейнеленетін сигналдардың көмегімен ұйымдастығысы келді. Өкінішке орай, мұндай сигналдардың қуаты тым аз болды да, олардың тәжірибелік мағынасы шамалы еді. Сонан соң АҚШ-тың әскери теңіз флоты ауада үнемі метеозондқа ұқсаған нәрсенің ілулі тұратынын байқады – бұл Ай еді. Жағалау қызметтерінің кемелермен байланыстыру үшін, Жердің табиғи серігінен шыққан сигналдар бейнесі пайдаланылатын жүйе құрылды.

Коммуникацияны аспан денелерінің көмегімен құрудағы әрі қарайғы озықтық, бірінші байланыс спутнигін жібергенге дейін осымен тоқтатылды. Жасанды «айдың» ерекшелігі, онда кірістегі сигналды Жерге кері жіберместен бұрын күшейтетін құрылғы орнатылған. Бұл космостық байланысты қызықты курьездан қуатты технологияға айналдырды.

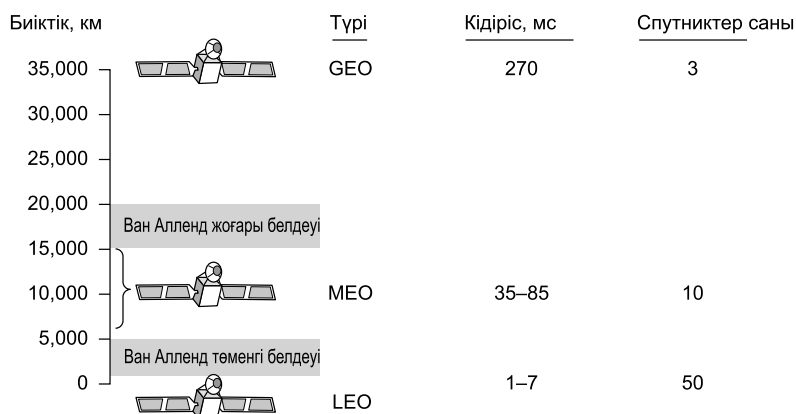
Байланыс серіктеріне оларды әр алуан қолдану салаларында аса тартымды ететін нақты қасиеттер тән. Ең оңайы өзіңізге аспанда ілініп тұрған орасан зор микротолқындық қайталауышқа ұқсаған, байланыс серігін көз алдыңызға елестету. Оның құрамында әрқайсысы жиілік спектрінің нақты бөлігінде күйге келтірілген бірнеше **транспондерлер** бар. Транспондерлер жерге қайтарған кезде

сигналдар бейнесі түзудің бойында бірінің үстіне бірі қаланбас үшін сигналдарды күшейтеді және оларды жаңа жиілікке түрлендіреді. Жұмыстың мұндай тәртібі «жіңішке құбыр» (bent pipe) деп аталады. Деректер ағындарына қол жетімді диапозонда айла-шарғы жасау немесе қайта бағыттау үшін сандық өңдеуді қосуға болады. Сонымен қатар, байланыс серігі әрі қарай сандық ақпаратты ала алады және тасымалдай алады. Сигналды қалпына келтірудің бұл әдісі, байланыс серігі өрлеп келе атқан сигналда шуыл санын өсірмейтіндіктен, «жіңішке құбырмен» салыстырғанда жалпы өнімділікті арттырады. Азаймалы сәуле Жер бетіндегі орасан зор кеңістікті жауып тұратындей кең де, бірнеше жүздеген километрмен ғана шектелген аймақтардан қабылдай алатындай жіңішке де бола алады.

Кеплер заңдылығына сәйкес дәрежесіндегі орбита радиусының $3/2$ дәрежесіне тең. Сонымен, орбита неғұрлым биік болған сайын период соғұрлым ұзақ. Жер беті маңайында оның айналасында айналу периоды шамамен 9 минутты құрайды. Яғни, аз биіктікте орналасқан байланыс серіктері Жерде орналасқан қабылдап-тасымалдаушы құрылғылардың назарынан дереу жоғалып кетеді, сондықтан үзіліссіз жабу аймағын ұйымдастыру және оларды қадағалаушы жер үсті антенналарын орнату керек. 35 800 км биіктікте период 24 сағатты құрайды. Ал 384 000 км биіктікте байланыс серігі Жерді бір ай бойы айналатын болады, оған Айды бақылай отырып, кез келген қалаған адам көз жеткізе алады.

Әрине, байланыс серігінің айналу периодында оны қай жерге орналастыру керектігін ескерген өте маңызды.

Ван Аллен белбеуі (Van Allen belts) деп аталатын, Жердің магниттік өрісінің әсер ету аймағында орналасқан үлкен зарядты бөлшектердің шоғырлану аймағын ескеру қажет. Аталған белбеуге түскен кез келген байланыс серігін бұл бөлшектер жеткілікті түрде тез арада жойып жібереді. Осы факторларды ескерудің нәтижесінде жасанды серіктерде қауіпсіз орналастыруға болатын үш аймақ бөліп алынған болатын. Олар 2.13-суретте көрсетілген. Бұл суреттен олардың кейбір қасиеттері туралы білуге болады. Біз әрбір аймақта орналасқан серіктерді қысқаша қарастыратын боламыз.



2.13-сурет. Байланыс серіктері және олардың қасиеттері: орбитаның биіктігі, бөгу, жер шарының бетін толық жабуға қажетті серіктер саны

2.4.1 Геостационарлық серіктер

1945 жылы қиялшыл-жазушы Артур С.Кларк (Arthur C. Clarke) дөңгелек экваторлық орбитада 35 800 км биіктікте орналасқан байланыс серігі Жерге қатысты қозғалыссыз қалыпта қалатынын есептеді. Яғни, оны бақылау анағұрлым жеңіл болады (Clarke, 1945). Ол өз ойын әрі қарай дамытып, осындай геостационарлық серіктер қолданатын бүтіндей байланыс жүйесін сипаттады. Ол орбиталарды, күн батареяларын, радиожиіліктерді, тіпті байланыс процедураларын да баяндады. Өкінішке орай, ол ақыр соңында бұл спутниктердің бортына энергосыйымды, нәзік шамдық күшейткіштерді орналастыру мүмкін болмайтындықтан оның тәжірибелік мағынасы жоқ деген жағымсыз қорытындыға келді. Осыған байланысты Кларк, осындай жасаны байланыс серіктері туралы бірнеше фантастикалық әңімелер жазғанымен, өзінің идеясын әрі қарай дамытпады.

Жағдайды транзисторлардың пайда болуы өзгертті, 1962 жылдың шілде айында әлемдегі ең бірінші байланыс серігі Telstar ұшырылды.

Содан бері байланыс серіктері миллиардтаған бизнес және космостық технологиялармен байланысты жалған пайдалы іс болды. Үлкен биіктіктерде айналатын байланыс серіктері туралы олар **геостационарлық орбиталарда (GEO, Geostationary Earth Orbit)** орналасқан деп айтады.

Заманауи технологиялардың талабына сай 360-градустық экваториалдық жазықтықта орналасқан спутниктердің арасы екі градустан жиі болмауы керек. Кері жағдайда сигналдардың интерференциясы орын алуы мүмкін. Сонымен, егер әрбір екі градусқа бір спутник келетін болса, онда бүкіл экваториалдық жазықтықта олардың $360/2=180$ данасын орналастыруға болады. 180 спутник бір уақытта аспанда болып, бір жазықтықта айналып және бір биіктікте болуы мүмкін. Десе де әрбір транспондердің әр түрлі поляризация мен әр түрліжиілікте жұмыс істеуіне мүмкіндік бар, бұл өз тарапынан бүкіл жүйенің өткізгіш қабілеттілігін арттыруға мүмкіндік береді.

Уақыт өте келе Жер шары маңындағы орбиталарды бей-берекет пайдалануды болдырмау қажеттігі туындады. Аспанда тәртіп орнату ИТУ ұйымына жүктелді. Орбитаны бөлу үрдісі саясатпен өте тығыз байланысты, және де бірқатар елдер аспанның өзіне тиесілі «бөлшегі» үшін адамның тас дәуіріндегі арғы аталарын еске түсіреді. Бұл мемлекеттердің космос бөлшегін жалға беруден көретін өте жоғары әлеуетті табыстарымен түсіндіріледі. Сонымен бірге, кейбір мемлекеттер өздерінің мемлекеттік шекараларының биіктігі Айға дейін жайылғандығын және шетел мемлекеттерінің олардың территориясының үстінен өтетін орбитаны пайдалануы заңсыз деп мәлімдеуде. Бұл тақырыптағы қызу пікірталасты коммерциялық байланыс – бұл байланыс спутниктерінің, яғни олардың орбиталарының да, жалғыз қолданысы емес деген дерек қыздыра түседі. Оларды спутниктік теледидар операторлары, үкіметтік құрылымдар және әскерилер де пайдаланады.

Заманауи спутниктер жеткілікті түрде үлкен болуы мүмкін, салмағы 5 000 кг үлкен және күн батареялары арқылы өндірілетін бірнеше киловатқа дейінгі электр энергиясын пайдаланады. Күн, Ай және басқа да планеталар туғызатын гравита-

циялар әсері біртіндеп орбитадан ауытқуды шақырады және бағытты өзгертеді. Оның орнын борт қозғағыштарының көмегімен толтыруға болады. Спутник орбиталары параметрлерін сақтау бойынша амалдар **жайғастыру** деп аталады. Әйтсе де, борт қозғағыштарының отыны таусылатын уақыт та келеді (әдетте бұл он жыл пайдаланудан соң орын алады). Сол сәтте спутник қауқарсыз алған беттен, орбитадан ауытқи бастайды. Ол әрекет етуін тоқтататыны түсінікті және оны ажыратып тастау керек. Әдетте спутниктер өз өмірін атмосфераның қалың қабатына біртіндеп кіргенде, сол жерде жанып кетіп немесе (өте сирек жағдайда) жерге құлап аяқтайды.

Орбита телімі бұл елдер мен жекелеген компаниялар тартысқа түсетін жалғыз нәрсе емес. Әрине, тілек білдірушілердің арасында таралымға жұмысшы жиілік диапазоны да түседі, себебі спутниктердің азаймалы сигналдары микротолқындық құрылғылардың жұмысында ақаулар тудыруы мүмкін. Сондықтан ІТУ тек байланыс спутниктеріне ғана арналған жиілік диапазоны бөлді. Олардың ішіндегі ең маңыздылары *2.3-кестеде* көрсетілген.

2.3-кесте

Байланыс спутниктерінің негізгі жиілік диапазоны

Диапазон	Азаймалы сигналдар, ГГц	Көбеймелі сигналдар, ГГц	Жолақ ені, МГц	Мәселелер
L	1,5	1,6	14	Тар жолақ; толған
S	1,9	2,2	70	Тар жолақ; толған
C	4,0	6,0	500	Жердегі интерференция
Ku	11	14	500	Жаңбыр
Ka	20	3	3500	Жаңбыр, құрылғы бағасы

S диапазоны коммерциялық спутниктер трафиктеріне арналған бірінші жиілік жолағы болды. Ол екі ішкі диапазонға бөлінеді. Олардың біріншісі Жерден келетін сигналдарға (жоғары көтерілуші), екіншісі спутниктен келетін (төмен түсуші) сигналдарға арналған. Сонымен, екі жақты тасымалдау үшін бірден екі арна қажет етіледі. Олар енді тұтынушылармен толған, себебі сол жиіліктерде жерүсті микротолқындық байланыс құрылғылары да жұмыс істейді. 2000 жылы, халықаралық келісімге сәйкес, үстеме екі диапазон қосылған болатын S және L. Солай бола тұрса да, олар да тым жіңішке және толық.

Коммерциялық байланыстың келесі жоғары жиілікті диапазоны Ku («K under», яғни «K-ның асты») деп аталады. Жолақ әлі толмаған және оның ең жоғарғы жиілігінде жұмыс істейтін спутниктер бір-бірінен бір градус бұрыштық қашықтықта орналасуы мүмкін. Ku диапазонының тағы бір мәселесі бар: бұл жиіліктің толқындарын жаңбыр тұншықтырып тастайды. Су микротолқындық

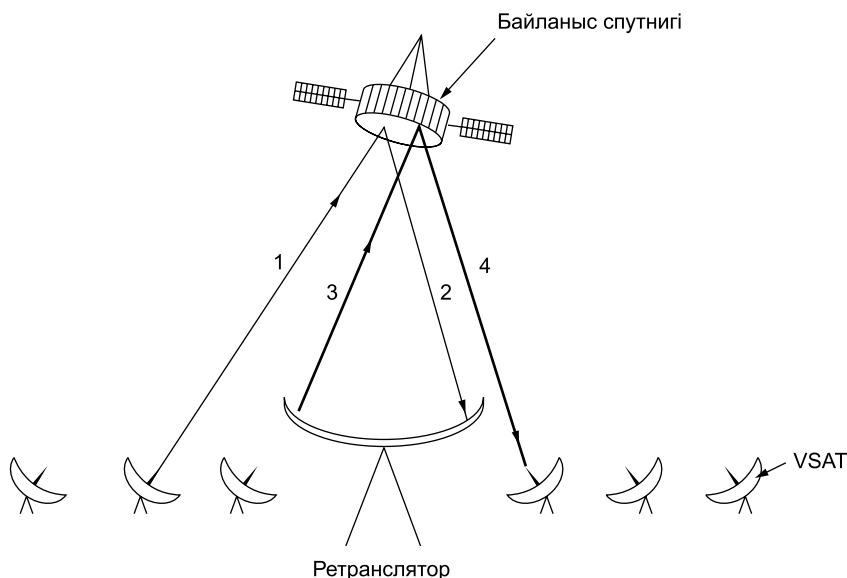
сигналды өте нашар өткізеді. Бақытқа орай, өте күшті нөсерлер әдетте жіңішке таралады, сондықтан мәселені бір-бірінен қашықта орналасқан жер үстіндегі бірнеше қондырғының көмегімен шешуге болады. «Жаңбыр мәселесі» бойынша төленетін құн өте жоғары, бұл: жылдам қол жетімдікке арналған қосымша антенналар, кабельдер және электронды құрылғылар. Соңында, ең жоғары жиілікті диапазон Ка (K above, яғни «К-ның үстінде»). Негізгі мәселе бұл жиіліктерде жұмыс істеуге қажетті жабдықтардың бағасының жоғарылығында. Коммерциялық диапазондармен қатар, көптеген әскери және үкіметтік диапазондар да бар.

Заманауи спутниктерде 40-қа тарта, көбінесе 36 МГц жолақты, транспондерлер бар. Әдетте әрбір транспондер «жіңішке түтік» принципі бойынша жұмыс істейді, бірақ соңғы кездері сигналдарды өңдеуге арналған борттық процессорлары бар спутниктер пайда болды. Алғашқы спутниктерде транспондерлерді арна бойынша бөлу статистикалық болды: барлық қолжетімді жұмысшы диапазон бірнеше бекітілген жолақтарға бөлінді. Қазір транспондердің сигналы уақытша слоттарға бөлінген, яғни әрбір қолданушыға тасымалдау үшін нақты уақыт аралығы бөлінеді. Төменде, осы тарауда біз екі принципті де (жиілікті және уақытылы мультиплекстеу) толық қарастыратын боламыз.

Алғашқы геостационарлы байланыс серіктертерінің нүктелі сәуле деп аталатын, жер бетінің шамамен 1/3 бөлігін орайтын, бір ғана сәулесі болды. Бірақ арзандау шамасына, микроэлектронды элементтердің мөлшері мен энергосыйымдылығының азаюына байланысты анағұрлым күрделі стратегиялар пайда бола бастады. Әрбір серікті бірнеше антеннамен және бірнеше транспондермен қамтамасыз ету мүмкін болды. Әрбір шыққан сәуле аз ғана территорияда фокустелетін болды; сонымен, бір уақытта бірнеше сигналды тасымалдау жүзеге асты. Әдетте мұндай дақтардың түрі иілген (овальный) және мөлшері де салыстырмалы түрде кішкене болады – шамамен бірнеше жүздеген километр. Американдық байланыс серігі кең сәулемен 48 штатты орайды, сондай-ақ Аляска мен Гавай аралдары үшін екі жіңішке сәулеге ие.

Байланыс серіктерінің дамуының жаңа тармағы аса кіші апертуралы арзан терминалдарды – VSAT (Very Small Aperture Terminal), (Abramson, 2000) жасау болды. Бұл кішкене станциялардың бар болғаны бір метр болатын антенналары бар (GEO-ның он метрлік антеннасымен салыстырыңыз), олардың шығыстағы қуаты шамамен 1 Вт құрайды. Жер-серік бағытындағы жұмысының жылдамдығы 1 Мбит/с дейін шаманы құрайды, бірақ серік-Жер байланысын секундына бірнеше мегабитке дейін қолдап отыруға болады. Серіктес кеңжолақты теледидар бұл технологияны біржақты тасымалдау үшін қолданады.

Көптеген VSAT микростанцияларына бір-бірімен байланыс орнату үшін қуат жетпей жатады (серік арқылы әрине). Бұл мәселені шешу үшін үлкен қуатты антеннасы бар арнайы жерүсті концентраторлар орнатылады (хаб, транслятор). Ол *2.14-суретте* көрсетілгендей бірнеше VSAT арасында трафикті таратады. Мұндай режимде не қабылдағыштың, не жібергіштің міндетті түрде үлкен антеннасы және қуатты күшейткіші болуы керек. Мұндай жүйенің кемшілігі – бөгелудің болуы. Артықшылығы – ақырлы қолданушы үшін толық жүйені қолданудың арзандығы.



2.14-сурет. VSAT микростанциясы және жер үсті конденсаторы

VSAT жүйелерін селолық жерлерде пайдаланудың келешегі зор. Ол туралы жиі еске ала бермейді, бірақ жер шары тұрғындарының жартысы жақын арадағы телефонға дейінгі қашықтықты аз дегенде бір сағат жүреді. Телефон сымдарын әрбір селолық жерде тартуға әсіресе «үшінші әлем» елдерінің қалтасы көтере бермейді. Бірақ күн батареясымен қоректенетін VSAT тәрелкелерін орнатуға керекті қаражат тек аймақтың әкімшілігінде ғана емес, жеке адамдарда да жетеді. Сонымен, VSAT – бұл жер шарының кез келген нүктесінде байланыс орнатуға мүмкіндік беретін технология.

Байланыс серіктерінің абоненттер арасындағы байланысты қамтамасыз ететін кез келген жер үсті жүйелерінен артықшылығы басым. Біріншіден, сигналдың таралуының аса жоғары жылдамдығына қарамастан (ол іс жүзінде жарықтың жылдамдығына тең – 300 000 км/с) жер үсті қабылдағыш-жібергіш құрылғылары мен серіктердің арасындағы қашықтық GEO технологиясындағы бөгелістер анағұрлым маңызды болатындай. Қолданушының, жер үсті станциялары мен серіктердің өзара орналасуына байланысты, тасымалдау уақыты 250-300 мс құрауы мүмкін. Әдетте, бұл 270 мс құрайды (сәйкес, конденсаторлар арқылы жұмыс істейтін – 540 мс – VSAT жүйелерінде екі есе көп).

Салыстыру үшін, жер үсті микротолқынды байланыс жүйелерінде сигналдың таралу бөгелісі шамамен 9 мкс/км, ал коаксилді кабель мен оптоалшықтың бөгелісі шамамен 5 мкс/км. Бөгеліс айырмашылығы бұл жерде қатты денелерде сигнал ауаға қарағанда бәсең таралатындығымен түсіндіріледі.

Серіктердің тағы бір маңызды қасиеті, олар деректерді тасымалдаудың кең жолақты әдісі болып табылады. Серіктің ізі зонасында орналасқан жүздеген або-

ненттерге хабарламаларды жөнелту, олардың біреуіне ғана жөнелткен сияқты, ешқандай қосымша ресурстар жұмсалмайды. Бұл қасиет кейбір қолданулар үшін өте пайдалы. Мысалы, серікте әйгілі веб-сайттардың кәштелуін көзге елестетуге болады, ол бір-бірінен шалғайда орналасқан жүздеген компьютерлерде оларды жүктеу жылдамдығы артатын еді. Әдетте, екі нүктелі жүйеде қарапайым кеңтаратылу да ынталандырылады, дегенмен серіктік тарату бұл жағдайда біршама арзандау. Екінші жағынан, мәліметтердің құпиялылығы тұрғысынан алғанда, серік – бұл нағыз бәленің өзі: кез келгені бәрін тыңдай алады. Бұл жерде ақпаратқа шектелген қолжетімдікті көздейтіндердің қорғаны – криптография.

Байланыс серіктері тағы бір тамаша қасиетке ие – ол тасымалдау құнының түйіндер арасындағы қашықтықтан тәуелсіздігі. Мұхиттың арғы жағындағы досына хабарласу құны көрші тұрған досына хабарласу құнымен тең. Ғарыш телекоммуникациялық технологиялары одан басқа, қателерден қорғауды өте жоғары дәрежеде қамтамасыз етеді және іс жүзінде жергілікті жерде лезде құруға болады, мұның әсіресе әскери мен ТЖМ қызметтерінде маңызы зор.

2.4.2. Орташа биікті серіктер

Геостационарлы серіктерге қарағанда анағұрлым пәс биіктерде Ван Алленнің екі белдеулерінің аралығында орташа биік серіктер орналасқан (MEO, Medium-Earth Orbit Satellites). Егер біз оларға жерден қарайтын болсақ, олардың көкжиек бойымен ақырын қалқуын байқауға болады. Орташа биікті серіктер біздің жер шарын 6 сағатта толық айналып шығады. Сәйкес жер бетіндегі қабылдау-таратушыларға олардың жылжуын қадағалап отыруы керек. Бұл серіктер геотұрақты серіктерге қарағанда анағұрлым төмен болғандықтан, олар ол «жарық түсіретін» жер бетіндегі дақтардың көлемі айтарлықтай үлкен болмайды. Осыған орай олармен байланыс жасау үшін аса қуатты емес хабарлағыштар жеткілікті. MEO серіктерін телекоммуникациялық емес, навигациялық жүйені қолдау үшін пайдаланады, сондықтан біз оларды әрі қарай қарастырмаймыз. GPS (Global Positioning System, тұрғылықты жерді анықтау жүйесі) жүйесінің, Жерді 20 200 км биіктікте айналатын, 30 жуық серіктері орташа биікті серіктердің мысалы бола алады.

2.4.3. Төменгі орбитадағы серіктер

Биіктікті айтарлықтай түсіре келе төменгі орбиталы серіктерді қарастырамыз (LEO, Low-earth orbit satellites). Бүкіл жер шарын орап жатқан тұтас жүйені құру үшін, осындай серіктердің орасан зор саны керек. Оның себебі алдыменен, олардың орбита бойымен жылдам қозғалуы. Бір жағынан, Жер бетіндегі хабарлағыштар және серіктердің арасындағы шағын қашықтық арқасында, ерекше қуатты,

сондықтан жер бетіндегі хабарлағыштар талап етілмейді, тоқтаулар бар болғаны бірнеше миллисекундаларды құрайды.

Iridium

Бастапқы 30 жыл көлемінде төменгі орбиталды серіктер өте аз қолданылды, себебі олар қабылдау құрылғыларының көріну аймағында лезде пайда болып жоғалып отырды. 1990 жылы Motorola фирмасы бұл салада үлкен қадам жасады, Iridium жобасы үшін 77 желілі серікті жіберуге FCC-тен рұқсат алды (Менделеев кестесіндегі 77 элемент Iridium болып табылады). Дегенмен, бұл жоспар өзгеріп, 66 серік қолданылды, осыған орай жобаның аты Dysprosium деп өзгертілуі тиіс еді, бірақ оның аталуы құлаққа жағымсыз болды. Бұл жобаның мағынасы, серіктің көріну аймағынан жоғала бастаған серікті сол сәтте жаңа серік алмастырады. Тура әткеншек сияқты. Бұндай идеялар коммуникациялық компаниялар арасында бақталастықты тудырды. Олардың бәрі өзінің серіктерін бұл тізбекке қосқылары келді.

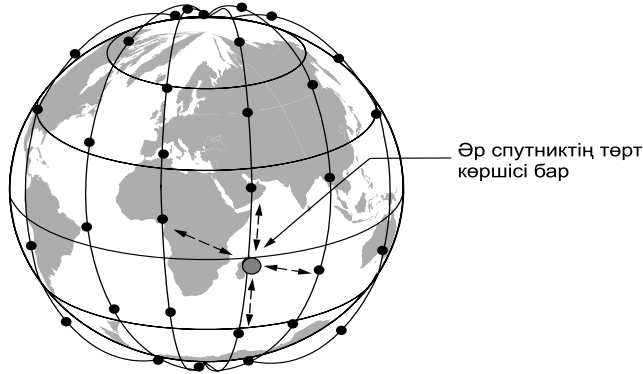
Компаниялар арасындағы 7 жылдық бақталастықтан кейін, ортақ қаржыландыру мәмілесіне келгеннен кейін серіктер жіберілді. 1998 жылдың қарашасынан бастап байланыс қызметі беріле бастады. Өкінішке орай, серіктік телефондарға деген коммерциялық сұраныс күрт төмендеп кетті, себебі 7 жылдың ішінде болған бақталастыққа орай, Iridium жобасына дейін мобильді байланыс ілгері алға қадам басты. Қорыта келгенде, Iridium жобасы ешқандай пайда алып келмегендіктен, 1999 жылы банкрот болып, тарихта корпоративті сәтсіздік болып ізін қалдырды. Ақыр соңында 5 миллиард доллар тұратын серіктерді, 25 миллион долларға ғарыштық ескі-құсқы заттар ретінде инвесторға сатты. Серіктік байланыс қызметін көрсететін қалған кәсіпорындар ақыр соңы құрып кетті.

2001 жылдың наурыз айынан бастап, Iridium проектісі қайтадан іске асты. Бұл жүйе жердің түпкір-түпкіріне қолда болған байланыс құралы арқылы, серікпен тікелей байланыс бере алады. Ақпараттар, факстар, пейджерлік және де навигациялық ақпараттар жібере алады. Ол құрлықта да, суда да және ауада да жұмыс істей береді. Iridium-ның тұтынушылары телекоммуникациялық байланысқа тапшы құрлықтық, авиациялық компаниялар, мұнай іздеумен айналысатын фирмалар, саяхаттық қызмет көрсететін жеке тұлғалар болып саналады.

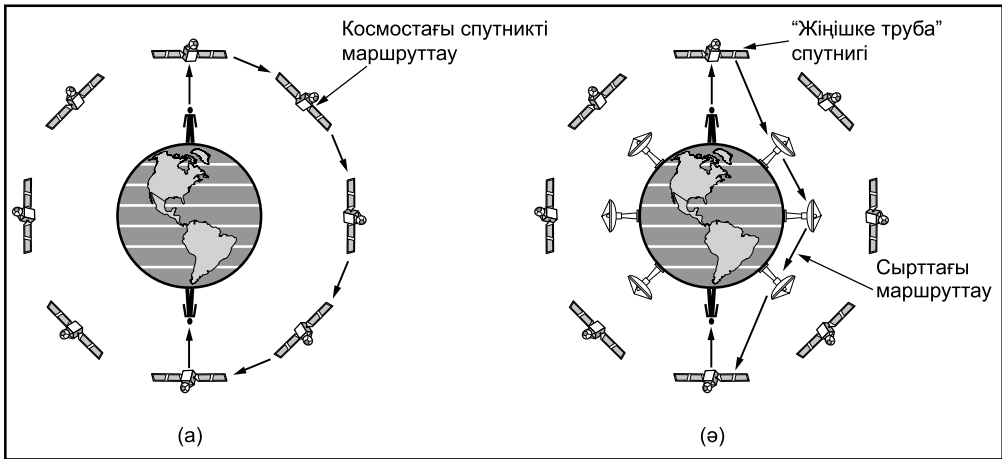
Iridium серіктері орбита бойымен жерден 750 км биіктікте ұшады. Ол ұзақтық сызық бойымен бағдарланған алқаны құрайды. Осындай алты алқа *2.15-суретте* көрсетілгендей Жерді орайды. Әрбір серіктің 48 ұяшығы (сигнал сәулелерінен қалған дақтар), ал өткізужолағы 3840 арнаны сыйдырады. Кейбір арналар пейджерлі компанияларда навигация үшін, ал қалғандары – деректер мен сөздерді тасымалдауда қолданылады.

Алты алқа, суретте көрсетілгендей, Жердің бүкіл бетін жабуға мүмкіндік береді. Iridium-ның қызықты қасиеті, *2-16 а-суретте* көрсетілгендей, осы жүйеде деректермен алмасу бір-бірінен өте алыстағы абоненттердің арасында, ғарышта болады. Солтүстік полюстегі абонент өзінің үстінде орналасқан серікпен тікелей

байланысады. Әрбір серіктің онымен мәліметалмаса алатын төрт көршісі бар: екеуі (2.15-суретте көрсетілгендей) сол алқада, ал енді екеуі көрші алқада. Серіктер дауыс деректерін сол тор бойымен тасымалдайды және нәтижесінде бірінші абоненттің сөзі Оңтүстік полюстағы екінші абонентке жетеді.



2.15-сурет. Iridium серіктерінен құралған Жердің алты алкасы



2.16-сурет. Космостағы деректерді қайта тасымалдау (а); деректерді жер үсті станциялары арқылы қайтатасымалдау (ә)

Globalstar

Globalstar жүйесі Iridium жобасының баламасы болып табылады. Ол 18 төмен орбиталық серіктерге негізделген, бірақ сигналдарының қайтатрансляциясының

схемасы басқаша. Егер Iridium-да маршрутизатор ретінде сигналды тізбек бойымен тасымалдайтын серіктердің (күрделі жабдықтың бар болуын талап ететін) өзі қолданылса, Globalstar қарапайым «тар түтік» қағидатын пайдаланады. Айталық, серікке қоңырау Солтүстік полюстан келді делік (*2-16 ә-сурет*). Қабылданған сигнал Жерге кері жіберіледі де Санта-Клаустың үйінің жанындағы жер бетіндегі ірі қабылдау-жіберу станциясымен қарпылады. Маршрутизация дүние жүзінде шашырай орналасқан станциялардың арасындағы өндіріледі. Сигналдың жер бетіндегі мақсаты – екінші абонент маңындағы жер бетіндегі маршрутизатор. Шақыру оған жақын орналасқан серік арқылы абонентке түседі. Мұндай схеманың артықшылығы – өте күрделі жабдық жердің бетінде орнатылған, ал онымен жерде жұмыс істеу орбитаға қарағанда анағұрлым оңай. Жердегі қуатты антенналарды қолдану сол серіктен әлсіз сигналды қабылдауға мүмкіндік береді; демек, телефон тұғыну қуатын кішірейтуге болады. Нәтижесінде телефондар сигналды бар болғаны бірнеше милливатт қуатпен тасымалдайды және жердегі антенналар, тіпті олар серіктермен қуаттандырылса да, өте әлсіз сигналдарды қабылдайды. Әйтсе де, жұмыс істеу үшін мұндай қуат жеткілікті.

Ғарышта жылына, салмағы 5000 кг-нан астам серіктермен қоса, 20 серіктер іске қосылады. Үлкен бюджеттік шығындарды көтере алмайтын ұйымдар кішігірім серіктерді пайдаланады. Космостық кеңістікті зерттеуді анағұрлым қолжетімді ету үшін, Калифорния политехникалық институтының мен Стенфорд академиктері 1999 жылы, серіктің іске қосылу құнын анағұрлым төмендететін, тасымалдаудың ықшам және қолайлы механизмдерінің стандартын ойлап тапты (Nugent және басқалары, 2008 ж). CubeSat – шаршы секілді, қыры 10 см болатын серік. Әр мұндай серіктің салмағы бір килограмнан астам емес, оның іске қосуының құны 40000 долларларды аспайды. Жіберу қондырғысы, коммерциялық ұшуларға аттанатын, ұшу аппараттарына бекітіледі. Іс жүзінде жіберу қондырғысы – бұл үш ықшам серіктерге дейін сиғыза алатын түтік. Ол орбитаға серіппенің көмегімен атылады. CubeSat серіктерінің 20-ға жуығы іске қосылып қойылған және орасан көп жоба белсенді түрде әзірленуде. Мұндай серіктердің көпшілігі УВЧ (UHF) және ОВЧ (VHF) диапазондарындағы жербеті станциялармен араласады.

2.4.4. Серіктер оптогалшыққа қарсы

Мұндай салыстыру орынды, бірақ ақыл үйрететіндей емес. Адам баласы бар болғаны 25 жыл бұрын ғана телекоммуникациялық жүйелердің болашағы байланыс серіктері екенін сезіне бастады. Телефон жүйесі соңғы 100 жылда өзгермеген, шамасы, әлі 100 жылдан кейін де өзгермейді. Мұндай тұрақтылық телефон компанияларынан ақылға сиярлық ақша көлемінде сапалы қызметті талап еткен және есесіне инвестиция есебінен кепілді пайда ұсынған қуатты реттеуші ортаға байланысты болды. Тек дыбыс қана емес, сонымен қатар мәліметті тасымалдаушылар үшін, 1200 бит/с өткізгішті модемдер жасалды. Шындығында, ұзақ уақыт бойы телефон жүйесінің бергені де осы болды.

1984 жылы АҚШ-та және сәл кешірек Еуропада байланыс саласында барлығын аяғынан басына тұрғызған бәсекелестік күрес туындай бастады. Телефон компаниялары халықаралық телефония үшін оптоалшықты төсей бастады да, Интернетке қосылудың жоғары жылдамдықты қолжетімділік қызметін (мысалы, ADSL) көрсете бастады.

(Asymmetric Digital Subscriber Line, асимметриялық цифрлы абоненттік желі). Жергілікті сөйлесулердің төменгі тарифіне ұзақ уақыт ықпал еткен қашықтықтағы байланыстың жасанды тарифтері бір кезде төмендей бастады. Кенеттен оптоалшықты кабель байланыс орнату құралдарының ішінде жеңіске жетті. Бірақ серіктердің өз қолдану салалары бар, оларға оптоалшықты кабельдің берері аз. Біріншіден, егер мәселе тез өркендеуде болса, серіктердің артықшылығы сөзсіз. Тез әрекет ету соғыс уақытында өте маңызды. Ал бейбітшілік уақытында ГЖМ-да қолданылады. 2004 жылы желтоқсан айында Суматрадағы жер сілкінісі мен үлкен су толқынысынан кейін байланысты орнату 24 сағаттан кейін жүзеге асырылды, ол жер серігінің көмегімен орнатылды. Осы аймақта серіктік байланыс қызметін ұсынатын 50-ден аса серіктері бар, қуатты қайдан қаласа, сол жерден алатын Intelsat сияқты үлкен компаниялар бар. Осы компаниялардың қызметін пайдаланушылар үшін жер шарының кез келген нүктесінде VSAT микростанциясын ашып, секундына мегабитке дейін жылдамдықты қамтамасыз етуге болады.

Серіктердің екінші пайдалану ортасы – жергілікті емес инфрақұрылымы жақсы дамымаған аймақтардағы байланыстар. Қазіргі кезде адамдар жердің әр түпкірінде байланысқа қол жеткізгілері келеді. Мобильді байланыс желісі халық тығыз орналасқан аймақтарды жақсы қамтыған, бірақ жердің кейбір бөліктерінде (мысалы, шөл далада немесе теңізде) мүлдем жұмыс істемейді. Iridium барлық жер шарында дыбыстық байланыс қызметін ұсынады: тіпті Оңтүстік полюсте. Сонымен қатар жерүсті инфрақұрылымын өркендету арзан тұрмайды және көбінесе территориялық шарттарға және меншік құқығына байланысты. Индонезияда ішкі трафик үшін өз спутниктері пайдаланылады. Оны сатып алу архипелагтың барлық 13667 аралдарының арасында су асты кабельдерін жүргізуге қарағанда арзанға түсті.

Бізді қызықтыратын үшінші орта – кең тарату. Серіктен жіберілген құжаттар дестесі бір уақыттар жердегі мыңдаған станцияларда қабылданады. Сондықтан серіктер туралы көптеген желілік телеарналар хабарлайды. Қазіргі кезде тіпті серіктен ақпарат алу қызметтері көрсетіледі: серікті телевизиялық және радио қабылдағыш пайдаланушының үйінде немесе көлігінде орнатуына болады. Бұндай жолмен тек телебағдарламаларды ғана емес, сонымен қатар кез келген мәліметтерді жіберуге болады. Мысалы, акцияның, облигацияның бағасы туралы және бірнеше дилерлер арқылы алынған баға мен серік арқылы алынған тауардың бағасы арзандығы туралы ақпарат алуға болады. Жердегі желілер арқылы ақпарат алу қымбат әрі қиындау болады.

Жердегі телекоммуникация құралдарының негізгілері оптоалшықты мен желілік радио байланыстарының комбинациясы қолданылады, бірақ кейбір жағдайларда серіктік жүйе арнайы қолданылады. Бірақ барлық дамуды тоқтататын

бір нәрсе бар, ол: экономика. Оптоталшықты кабель үлкен өткізу қабілетімен ерекшеленеді, бірақ желісіз жүйелер жердегі сияқты серікте де үлкен бәсекелестікке әкеледі. Егер серіктік жүйелердің арзандауы ары қарай жалғаса беретін болса (мысалы, егер болашақта ғарыш кемелері бір уақытта орбитаға ондаған байланыс серігін жібере алатын болса), ал төменгі орбиталы серіктер телекоммуникацияларда көптеп қолданыла бастайды, ондай жағдайда оптоталшықты желілер нарықтағы алдыңғы ролінен кетеді.

2.5. ЦИФРЛЫҚ МОДУЛЯЦИЯ ЖӘНЕ МУЛЬТИПЛЕКСТЕУ

Біз желілі және желісіз арналардың қасиеттерін оқып білгеннен кейін сіздердің зейіңдеріңізді цифрлы ақпараттарды жіберу қиындықтарына аударамыз. Желілі және желісіз арналар кернеуді үздіксіз өзгертетін кернеу, жарықтың немесе дыбыстың үдемелілігі сияқты ұқсас сигналдарды таратады. Цифрлы ақпаратты жіберу үшін біз битті көрсететін ұқсас сигналдарды құрастыруымыз керек. Биттер мен сигналдарды арасындағы түрлендіру процесі **цифрлы модуляциялау** деп аталады.

Біз биттерді сигналдарға тікелей айналдыратын сызбалардан бастаймыз. Осы сызбалар сигнал деңгейіне байланысты нөлден максимумға дейінгі жиілікті алатын сигналды **негізгі жиілік жолағын жіберуіне** әкеледі. Бұл желілерге тән. Биттерді жіберу үшін бар сигналдың жиілігі, фазасы мен амплитудасын бақылап отыратын сызбаларды қарастырамыз. Осы схемалар салмақты сигналдар жанындағы жиілік жолағын алатын сигнал **өткізу жолағына жіберуге** әкеледі. Сигналдар берілген жиілік диапазонында болуы тиіс оптикалық және желісіз арналарға бұл тән. Арналар көбінесе кейбір сигналдармен бірге қолданылады. Бірнеше сигналдарды тарату үшін әр сигналға жеке сым қолданғанша, барлығына бір ғана сым қолдану ыңғайлы. Осы сигналдарды бірлестіріп қолдану **мультиплексорлау** деп аталады. Бұл түрлі әдістермен шешіледі. Біз уақытша, жиілікті мультиплексорлау және кодтық бөлу арқылы мультиплексорлау әдістерін қарастырамыз.

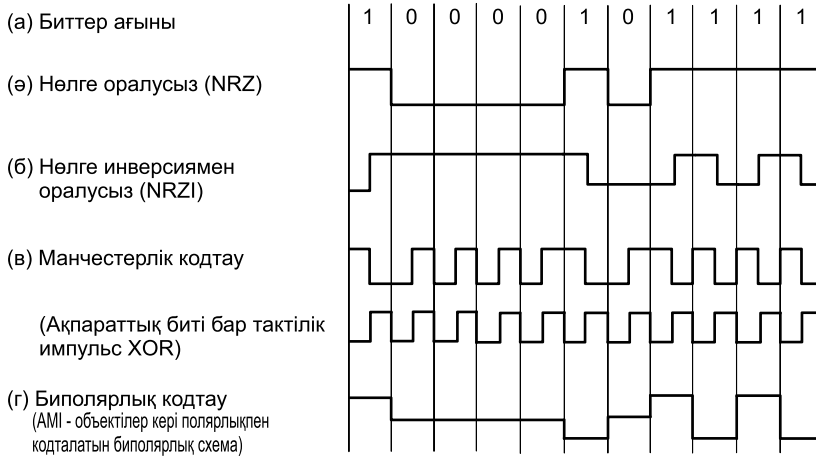
Осы бөлімде біз сипаттап отырған мультиплексорлау мен модуляцияның барлық әдістері жердегі радиод, серік, желісіз және талшықты арналарда кеңінен қолданылады. Келесі бөлімде желілер әдістерінің қызметін қарастырамыз.

2.5.1. Төменгі жиілікті тарату

Цифрлы модуляцияның ең қарапайым түрі – 0-ді қою үшін 1 және теріс кернеуді көрсету үшін оң кернеуді қолдану. Оптоталшықты үшін 1 ол жарықтың болуы, ал жарықтың болмауы 0. Бұл сызбаны NRZ (None return to zero, нолге қайтарымсыз) деп атайды. Бұл біртүрлі ат таризына байланысты пайда болды, және ол мәліметтерге сәйкес. Мысал *2.17-суретте* көрсетілген.

NRZ-ге жіберілген сигнал сыммен жіберіледі. Бір жағынан, уақытқа қарай сигналдарды бірдей таңдай отырып, қабылдаушы оны биттерге айналдырады.

Сигнал жіберілген сигналда айналмайды. Ол қабылдаушының арналар мен шуларға байланысты әлсірейді. Биттерді шифрдан шығару үшін қабылдаушы ұқсас символдарға теңестіреді. NRZ үшін оң кернеу 1-дің, ал теріскернеу 0-дің тасымалданғандығын көрсетеді.



2.17-сурет. Сызықты кодтар (байланыс сызықтарына арналған кодтар): а – биттер, ә – NRZ; б – NRZI; в – Манчестер; г – биполярылық немесе AMI

NRZ-біздің зерттеудің жақсы бастамасы, өйткені тәжірибеде бұл сызба жеке түрде сирек қолданылады. Басқа күрделі сызбалар биттерді техникалық пайымдауға дәлірек жауап беретін сигнал түріне ауыстыра алады. Бұл сызбаларды сызықты кодтар деп атайды (байланыс желісінің кодтары). Төменде біз, тұрақты ток балансын және синхрондауды, өткізгіштік қабілетін тиімді қолдануға көмектесетін сызықтық кодтарды қарастырамыз.

Жиілік жолын қолданудың тиімділігі

Сигнал NRZ-бен әрбір екі биттің оң және теріс деңгейінің арасында циклді түрде қайталануы мүмкін (бірліктер мен нөлдерді алмасу кезінде). Бұл биттердің жылдамдығы-В бит/с болған жағдайда жиілік жолының кем дегенде $V/2$ Гц болуы тиіс екендігін көрсетеді. Берілген қатынас Науквиста жылдамдығынан туындайды. Бұл іргелі шек, сонымен жоғары жиілік жолы болмай, NRZ-ді тездетіп қолдана алмаймыз. Жолдар тіпті, өткізу арналары үшін де шекті ресурстар болып табылады, жоғары жиілікті сигналдар оларды пайдалырақ және жылдамырақ өңдеуді қажет ете отырып тезірек өшіп қалады.

Шекті жолды қолданудың тиімді стратегиясының негізі екі сигналдық деңгейден де көбірек деңгейлерді қолдану болып табылады. Мысалы, кернеудің төрт деңгейін қолдану кезінде екі битті бірден бір сигнал түрінде жібере аламыз.

Бұл сызба қабылдауышқа келіп түскен сигнал төрт деңгейлі кернеуде ажыратылып көрсетілетіндей жеткілікті күшті болғанша жұмыс істейді. Сигнал өзгеретін жылдамдық битрейт бөлігі болып табылады, демек кіші жол қажет.

Біз, сигналдың деңгейін өзгертетін жылдамдықты битрейт түсінігінен ажырату үшін символдық сигнал деп атаймыз. Битрейт-символдағы биттер санына көбейткендегі символ жылдамдығы. Құрылғылар ішінде телефон желісіне цифрлық деректерді жіберетін телефон модемдері деп аталған символдық жылдамдықтың бұрынғы атауы – бодрейт (бодтардағы жылдамдық). Әдетте, әдебиеттерді бодрейт және битрейт терминдерін ажыратуда жиі қателеседі.

Сигнал деңгейінің саны екілік дәрежесі болуы шарт емес екендігін ескеру қажет. Әдетте мұндай жағдай бола бермейді, деңгейлердің кейбірі қателіктерден сақтауда және қабылдағыштың конструкциясын жеңілдетуде қолданылады.

Синхрондау

Қабылдағыш биттерді шифрден дұрыс шығару үшін биттерді символдарға кодтайтын сызбалар символдың қашан аяқталып, қашан басталатынын білуі тиіс. Символдар тек бірнеше нөлдермен бірліктер ретінде көрсетілген кернеу символы болып қана табылатын NRZ сигналды өзгеріссіз қалдырады. Біраз уақыттан кейін биттерді бөліп алу қиынға соғады, өйткені, бізде дәлдік сағаты болмаса, 15 нөл 16 нөлді еске түсіретіні анық.

Дәлдік сағаты бұл қиындықты шешуде көмектесер еді, бірақ жалпы құрылғыларға қымбат шешім. Біз уақытылы биттерді жоғары жылдамдықта (секунд ішінде көп мегабит) жұмыс істейтін байланыс желісіне таратамыз, осылайша ұзақ жұмыс мерзімінде сағат микросекунд бөлігінен аз ауытқитын еді. Бұл жылдамдығы төмен арналар мен қысқа ақпараттар үшін тиімді болар еді, дегенмен бұл шешім жалпыға бірдей емес.

Келесі бір стратегияның негізі – сағаттың жеке сигналын қабылдағышқа жіберу болып табылады. Сағаттың жеке желісі бірнеше параллельді желісі бар компьютерлік шиналар мен қысқа кабельдер үшін қиын емес, бірақ бұл желі арналарының көбісіне немқұрайды болады: егер тағы да бір сигнал жіберетін желіміз болса, біз оны деректер жіберу үшін қолданар едік. Бұл жерде сағат сигналдары мен деректер сигналдарын қосымша желілер қажет етпейтіндей етіп «әйтпесе» арқылы араластырып қосуға болады. Нәтижесі *2.17 в-суретте* көрсетілген. Сағат көбінесе, биттердің әрбір өту мезетіндегі сағат сигналын жібереді, осылайша екі битрейт жылдамдығымен жұмыс істейді. Сағат сигналы 0 деңгейімен қосылғанда жай ғана сағаттың төменнен жоғарыға ауысуы жүзеге асады. Бұл ауысу-логикалық 0. Ал, бұл 1 деңгейімен қосылғанда жоғарыдан төменге ауысу процесі жүзеге асады. Бұл ауысу-логикалық 1. Бұл сызбаны **Масчестерлік кодтау** деп атайды, бұл классикалық Ethernet үшін қолданылған.

Масчестерлік кодтаудың кемшілігі – сағаттар үшін NRZ-ге қарағанда екі есе үлкен өткізу жолағы қажет, білуімізше бұл маңызды. Келесі стратегия сигналдарда коп ауысуы бар екен кепіл ете отырып деректерді кодтау. NRZ-де тек бірліктер

мен нөлдер тізбегінде синхрондау қиындығы туындады делік. Егер ауысым жиі қайталанатын болса, келіп жатқан символдар ағымымен қатар қабылдағыш та синхрондалған күйінде қалу оңайға соғады.

Дұрыс шешімді таңдау үшін жағдаятты жеңілдетсек, 1-ді ауысым ретінде кодтау және 0-ді ауысым жоқ ретінде қарастырайық немесе керісінше. Бұл кодтау жүйесін **NRZI** деп атайды (инверсияланған нөлге қайтарымсыз). Мысал *2.17 ә-суретте* көрсетілген.

Компьютердің сыртқы құрылғылармен байланысының танымал стандарты USB (Әмбебап тізбекті шина) – NRZI пайдаланылады. Бұл жағдайда ұзын тізбек бірлігі қиындық туғызбайды. Әрине, ұзын нөлдер тізбегі әліде қиындық туғызуда, бірақ мұның мәселесі шешілуде. Егер біз телефонды компания болсақ, онда жіберушінің көп нөлдерді қатарынан жібермеуін талап етеміз. АҚШ-та ескі телефон желілері T1 сымында дұрыс жұмыс істеу үшін қатар орналасқан нөлдер саны 15-тен аспайды. Шын мәнінде қиындықты шешу үшін, біз кішігірім биттер тобын бейнелей отырып, нөлдер тізбегін бөлшектей аламыз. Нәтижесінде, биттер тобықұрамында қатар орналасқан нөлдері көп емес тізбектер ретінде тасымалданады.

Әйгілі кодтардың бірі 4B\5B деп аталады. Әрбір 4 бит 5 биттік үлгіде берілген түрлендіру кестесі бойынша бейнеленеді. Бұл 5 комбинация екілік разрядта, үштік тізбектелген нөлдерде кездеспейтіндей жасалған. Бейнелеу *2.4-кестеде* келтірілген. Бұл сызба 100% Манчестерлік кодтауға қарағанда, 25% үстеме шығын қосады. 16 кіріс және 32 шығыс комбинациясы болғандықтан, шығыс комбинацияларының кейбіреулері қолданылмайды. Келешекте деректерге сәйкес келмейтін бұл кодтарды біз физикалық деңгейдегі басқарушы сигналдарды көрсету үшін пайдаланамыз. Мысалы, кейде «11111» – бос желі, «11000» – фреймнің басы дегенді білдіреді.

2.4-кесте

4B\5B бейнеленуі

Деректер (4B)	Кілттік сөз (5B)	Деректер (4B)	Кілттік сөз (5B)
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	01010	1011	10111
0100	01011	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

Деректерді кездейсоқ тәрізді көрінуге мәжбүрлейтін балама тәсіл скремблер деген атпен мәлім. Бұл жағдайда жиі ауысу мүмкін болады. Скремблер көмегімен “жоққа шығарушы немесе” операциясының көмегі арқылы олар тасымалданбастан бұрын деректерді жалғанкездейсоқ тізбекпен біріктіреді. Мұндай араласты-

ру деректерді жалған кездейсоқ тізбектер сияқты кездейсоқ етеді (олар жалған кездейсоқ тізбектерден тәуелсіз деп есептеледі). Қабылдағыш шынайы деректерді алу үшін келіп түскен сол жалған кездейсоқ тізбегі бар биттерге “жоққа шығарушы немесе” операциясын қолданады. Қолайлы болуы үшін жалған кездейсоқ тізбек оңай құрылуы керек. Бұл, әдетте қарапайым кездейсоқ сандар генераторының негізінде жүзеге асады. Скремблирлеу тартымды, өйткені ол қызметтік деректер уақытына қосымша талаптар қоймайды. Шын мәнісінде ол сигналдарға қосымша талаптар қою үшін қолданылады. Талаптың мағынасы – интерференцияның пайда болу мүмкіндігіне байланысты энергетикалық құрастырушылар гармониканың негізіне түспеуі керек (қайталанатын деректер дестесінің болуына байланысты). Келтірілген жағдай үшін скремблирлеу өте жақсы тәсіл, себебі кездейсоқ сигналдар «ақ шуға» ұқсас немесе олардың энергиясы жиілік бойымен «жағылған» болады.

Дегенмен, скремблирлеу ешқандай да ұзақ өңдеудің талап етілмейтіндігіне кепілдік бермейді. Ол кейде сәтсіз бола алады. Егер деректер жалған кездейсоқ тізбектерге ұқсас болса, онда “жоққа шығарушы немесе” операциясын қолданудың нәтижесінде олар нөлге айналып кетеді. Алдын ала болжам жасау қиынға түсетін ұзын жалған кездейсоқ тізбектерде бұл орын алмайды. Дегенмен қысқа немесе алдын ала болжам жасауға болатын тізбектер үшін шифрлеуден соң нөлдердің ұзын комбинациясын туғызатын және байланысты «бұзатын» екілік разрядтар комбинациясын таңдап алуға болады. Телефон желілерінде SONET арналары бойымен IP-дестелерін жөнелтуге арналған стандарттардың бастапқы баламаларында бұл ақау орын алған еді (Malis және Simpson, 1999). Қолданушылар әр түрлі жағымсыз мәселелерді туғызатын нақты «қанішер дестелерді» жібере алатын еді.

Симметриялы сигналдар

Уақыттың ең қысқа деген периодының өзінде құрамындағы оң кернеудің шамасы тура кернеудікіндей болатын сигналдарды симметриялы сигналдар деп атайды. Олар орташа есеппен нөлді құрайды, бұл симметриялы сигналдардың құрамында ешқандай тұрақты тоқты құрастырушы жоқ дегенді білдіреді. Мұндай компоненттің жоқтығының өзіндік артықшылығы бар, себебі коаксильді кабель немесе трансформаторлы желі сияқты арналарда физикалық қасиеттердің әсерінен сигналдың сөнуі күшті болады. Сонымен қатар, сыйымды байланыс деп аталатын қабылдағышты арнамен жалғайтын тәсілдің бірі айнаымалы тоғы бар сигналдың бір бөлігін ғана өткізеді. Кез келген жағдайда, егер орта саны нөлге тең емес сигналды тасымалдасақ, біз энергияны босқа шашамыз, себебі тұрақты токтың компоненті сүзгіштен өткізіледі.

Оң және теріс кернеулер үйлесімді болғандықтан тепе-теңдікте ұстау синхронизация сигналдары үшін тасымалдауды қамтамасыз етуге көмектеседі. Ол, сонымен қатар, қабылдағыштарды калибрлеудің қарапайым тәсілін береді, себебі сигналдың орташа мәнін өлшеуге және символдарды шифрлеу бағасы шешімінің шегі ретінде қолданыла алады. Симметриялы емес сигналдарда ор-

таша мәннің шынайы шешімнен айырмашылығы үлкен болуы мүмкін, мысалы, бірліктің тығыздығы салдарынан, нәтижесінде символдардың біршамасын шифрден шығару дұрыс болмаған болар еді. Симметриялық кодты құрудың қарапайым тәсілі кернеудің екі деңгейін логикалық 1 (айталық +1В немесе -1В) мен логикалық 0-ді (0В) көрсету арқылы пайдалану. Бірді тасымалдау үшін тасымалдағыш +1В мен -1В арасында деңгейлерді орташа болатындай етіп ауыстырып отырады. Бұл схеманы биролярлы кодтау деп атайды. Телефон желілерінде, 1-ді «белгі» 0-ді «бос орын» деп атайтын ескі терминологияға сүйене отырып, оны AML (Alternate Mark Inversion, тізбектелген объектілер қарама қарсы полярлықта кодталатын кодтаудың биполярлық схемасы) деп атайды. Мысалы, 2.17 *д-суретте* көрсетілген.

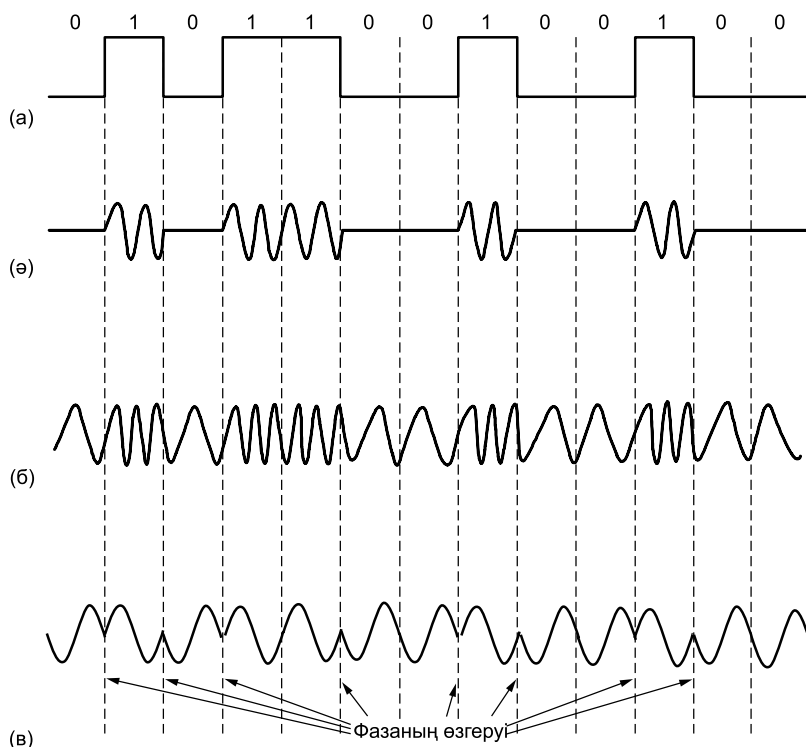
Биполярлық кодтау тепе теңдікті сақтау үшін кернеу күшін қосады. Сол сияқты тепе-теңдікті сақтау үшін біз 4в/5в қолдана аламыз. Мысалы симметриялы код-код 8в/10в. Ол 8 кіріс бит мен 10шығыс битін суреттейді сондықтан ол 80 пайызға тиімді. 8бит 5 битті топқа бөлінген 6 битті көрсетеді, ал 3 битті топ 4битті көрсетеді. Сондықтан 4 және 6 биттік символдар бір-бірімен байланысты. Әр топтағы кірістегі нұсқалар симметриялық кірістік нұсқауларға ауысады. Мысалы 001 симметриялық кірісте 1001. Кірістегі сигналдар көп болады өйткені, оларды тепе теңдікте ұстау керек. Әр кірістегі сигнал 2 кірістік сигналдардан тұрады. Бірінші кірістік сигнал 1 болса, екінші кірістік сигнал 0. Мысалы 000 және 1011 нәтижесі – 0100. Кіріс биттерін көрсеткенде, кодтық құрылғы алдыңғы символдың теңсіздігін көрсетеді. Теңсіздік – сигналды теңдестермейтін 0 мен 1-лердің жалпы саны. Кодтық құрылғы теңсіздікті азайту мақсатында шығыстағы үлгіні немесе оның баламасын таңдайды. 8в/10в коды үшін ең үлкен теңсіздік 2 бит болады. Осылайша, сигнал еш уақытта теңестірілмеген болмайды. Бұл жерде нөл мен бірлердің қатар орналасқан бестен артық тізбегі болмайды, сондықтан синхрондау оңай жүреді.

2.5.2. Өткізу жолағында тасымалдау

Біз ақпаратты тасымалдау үшін жиілік диапазонын таңдаймыз, әдетте ол 0-ден басталады. Желісіз арналарда төмен жиілікті сигналдарды жіберу тиімсіз, себебі антенаның көлемі толқынның көлеміне байланысты болады. Дегенмен, адам өз қалауын таңдағанда кедергілерді қаламайды. Сол себептен оны өткізу жолағында тасымалдау деп атайды, себебі тасымалдау үшін кез-келген жиілік жолағы таңдалады.

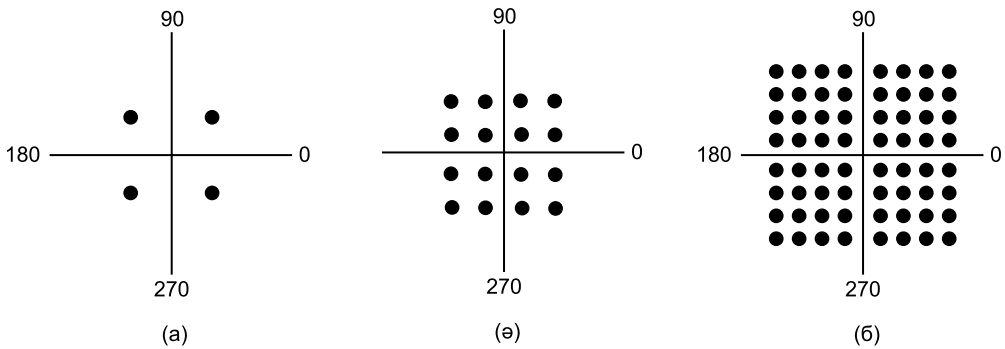
Іргелі зерттеулерде, біз қарастырған өткізу желісі мен желілік диапазонның ені қолданылады. Өткізу жолағы үшін жиіліктің абсолюттік мәнінің мағынасы жоқ. Сол себептен біз төмен желілік сигналын алсақ болады, әдетте ол 0-ден В Гц диапазонына дейін орын алады және оны тасымалданатын ақпараттың көлемін өзгерпей-ақ S-тен S+В Гц жолағын пайдалану үшін ығыстыруымызға болады. Сигналды қабылдағышта бейнелеу үшін оларды анықтау анағұрлым оңай болатын төмен жиілікті аймаққа қайтадан ығыстыруға болады.

Цифрлы модуляцияда өткізу жолағында тасымалдау салмақ түсетін сигналды реттеу негізінде жүзеге асады. Біз салмақ түсетін сигналдың амплитудасын, жиілігін, фазасын қадағалай аламыз. Әрбір сәйкес тәсілдің өзінің аталуы бар. ASK (Amplitude Shift Keying, амплитудалық манипуляция) 0 мен 1 беру үшін, 2 түрлі амплитуда қолданады. Нөлдік және нөлдік емес деңгей *2.18 а-суретте* көрсетілген. Символдардың анағұрлым көп санын бейнелеу үшін деңгейлердің көп саны пайдаланылады. Осылайша FSK (Freguensi Shift Keying, жиілік манипуляциялық) тәсілінде 2 немесе одан көп түрлері бар. *2.18 б-суретте* екі жиілік қана келтірілген. Ең қарапайым PSK (Phase Shift Keying фазалық манипуляция) формасында салмақ түсетін сигнал жүйелі түрде нақты уақыт аралығында 0 немесе 180 градусқа айналып отырады. Бұл жерде екі фаза болғандықтан, тәсіл BPSK (Binary PhaseShift Keying, бинарлы фазалық манипуляция) деп аталады. Бұл жерде «бинарлық», символ екі биттен тұрады деген ұғымды емес, екі символ дегенді білдіреді. Мысалы *2.18 в-суретте* көрсетілген. Арна жолағын тиімді пайдалануға негізделген жақсартылған тәсіл төрт ығысуды пайдалануды білдіреді, мысалы екі бит ақпаратты уақытылы интервал аумағында тасымалдау үшін 45, 135, 225 немесе 315 градусқа бұрылу. Бұл тәсілді QPSK (Quadrature PhaseShift Keying, квадраттық фазалық манипуляция) деп атайды.



2.18-сурет. Сигналдар: а – бинарлы; ә – амплитудалық манипуляция; б – фазалық манипуляция; в – фазалық манипуляция

Символ үшін көп бит тасымалдау мақсатында біз бұл схемаларды біріктіріп, үлкен деңгейді пайдалана аламыз. Бірауқытта тек бір ғана жиіліктің немесе фазаның екінші нұсқасы пайдаланылады. Әдетте амплитудалық және фазалық модуляциялар қиыстырылады. Мысалы нүкте әр нышанның фазасының амплитуда комбинацияларын көрсетеді. 2.19-суретте амплитуданың деңгейі тұрақты болғанда нүктелердің 45, 135, 235 және 315 бұрыштық градууста орналасуы көрсетілген.

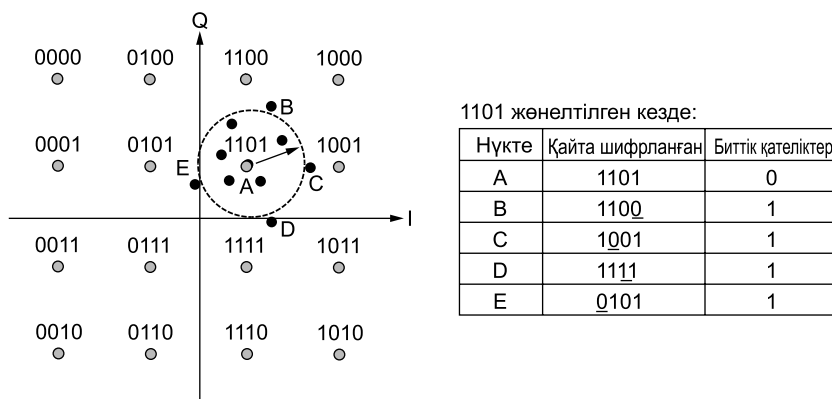


2.19-сурет. Модуляция: а – QPSK; ә – QAM-16; б – QAM-64

Фазаның бұл нүктелері нүкте және координат басы арқылы жүргізілген түзу мен горизонталь осьтің оң бағытымен құратын бұрышына тең. Амплитуда нүктесі – координата басынан басталатын қашықтық. Бұл сурет QPSK нәтижесін береді. Мұндай диаграммалар шоқжұлдызды диаграмма деп аталады. 2.1 ә-суретте амплитудалық және фазалық ығысулардың 16 комбинациясын қолданатын басқа жақсырақ қисындастыру модуляциясы көрсетілген. Оның көмегімен 4 битті символды жіберуге болады. Мұндай сызба график квадратты амплитудалық модуляциясы деп аталады. Немесе < QAM-16 > (Quadrature Amplitude Modulation). 2.23 б-суретте бұдан да тығыз модуляция кестесі көрсетілген. 64 комбинацияның көмегімен бір символға 6 бит орналастыруға болады. Бұл әдіс QAM-64 деп аталады. QAM сызбасы және оданда жоғары ретті сызбасы қолданады. Фаза немесе амплитуданың құрғаннан қарағанда әр осьтің символдарын комбинация түрінде көрсету үшін электроника мәндерін құру оңайырақ болады. Сондықтан оның үлгілері концентривті шеңберге емес, квадратқа ұқсас келеді.

Біз қолданып жүрген шоқжұлдыздар биттің символдар ретінде қойылуын көрсете алмайды. Бұл ретте шудың шағын секірісі қабылдағышта көптеген битті қателіктерге алып келмеуі маңыздырақ. Біртіндеп бит мәндерін жапсарлас символдарға қойсақ бұлай болуы мүмкін еді. Мысалы, егер QAM-16 бір символ болғанда – 0111 және көршілес символ – 1000, қабылдағыш қателесіп жапсарлас символды қабылдаса, барлық биттер қате болып есептелінеді. Ең маңызды шешім бұл биттің символдарда тура көрсету керек, жапсарлас символдар тек екілік разрядта өзгеше болу үшін. Мұндай көріністі Грей коды деп атайды. 2.20-суретте Грей

коды қолданылған QAM-16 шокжұлдызын көрсетілген. Егер қабылдағыш символдарды кодтан шығарған кезде, егер кодтан шығарылған символ тасымалданған символға жақын болса, ол тек бір ғана битті қате қылып жібереді.



2.20-сурет. Грей кодтауы қолданылған QAM-16

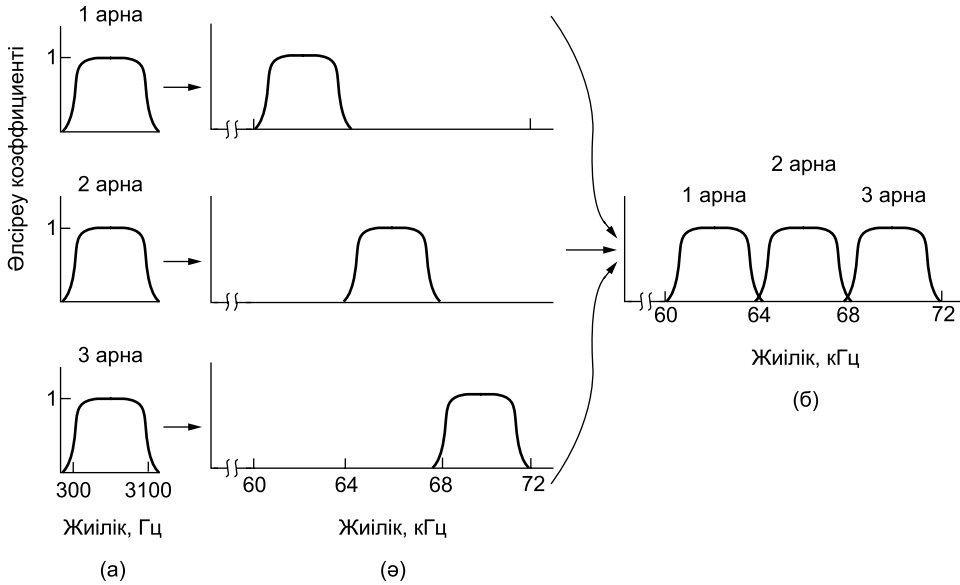
2.5.3. Жиілік тығыздалу

Біз қарастырған модуляциялық схемалар сымдар арқылы немесе сымсыз бір сигналды жіберуге мүмкіндік береді. Бірақ ресурстарды үнемдеу деректерді тасымалдау желілерінде маңызды рөл атқарады. Өткізу қабілеті жоғары магистральдар мен төмен сапалы сымдарда төсеу мен қызмет көрсету бағалары бірдей болады. Осының салдарынан көптеген сигналдардың сымды бірлесіп қолдануы үшін мультиплекстеу схемасы дами бастады.

FDM (Frequency Division Multiplexing, уақытты тарату негізінде мультиплекстеу, жиілік тығыздалу) жиілік бөлігімен мультиплекстеу. Арнаны бірігіп қолдану үшін өткізгіш жолағында тасымалдауды қолданады. Спектор жиілік диапазонына бөлінген, әрбір қолданушы өзінің сигналдарын жібере алатынқандайда бір жолақтарды басқарады. АМ-радиотарату FDM-ды сипаттайды. Белгіленген спектр шамамен 500-ден 1500 кГц болатын мөлшері 1 МГц-ті құрайды. Басқа жиіліктер өзге логикалық арналармен белгіленген, әрбір станция спекторлардың жеткілікті үлкен арналық бөліктері бөлігімен жұмыс істейді.

2.21-суретте 3 телефон арнасының жиілік тығыздалу арқылы бір жолаққа қалай біріктірілетіні көрсетілген. Сүзгіш әрбір арнаның пайдаланатын жолағын шамамен 3100Гц-ке шектейді. Көптеген арналар бір уақытта мультиплекторланғанда, әрбір жолаққа 4000Гц бөлінеді. Артықтары қорғану жолағы деп аталады. Ол арналарды өте жақсы сақтайды. Сигналдар алдымен сигналдар жиілік арқылы көбейеді, әрбір арнаның жылжыту шамасы әртүрлі болып келеді. Әрбір арна өз облысының спектріне жылжытылғаннан соң оларды қосуға болады. Іргелес арналардың арасында қорғаныс жолағы арқылы бос орындар қойылса да, салымдар болатындығын

аңғарыңыз. Бұл нақты фильтрлердің жедел шегі жоқ болуына байланысты. Бұл бір арнада күшті дыбыс көршілес арнадағы шу болып естілетінін білдіреді.



2.21-сурет. Жілік тығыздалу: а – сигналдардың бастапқы спектрі; б – жиілік бойынша ығыстырылған сигналдар; в – тығыздалған арна

Бұл сызба көп жылдар бойы мультиплекстеуі үшін телефондық байланыста қолданылған, енді уақыт мерзімімен қолданылады. Алайда FDM телефондық байланыста, ұялы телефонда, радио және спутниктегі байланыста биік деңгейде қолданылу үстінде.

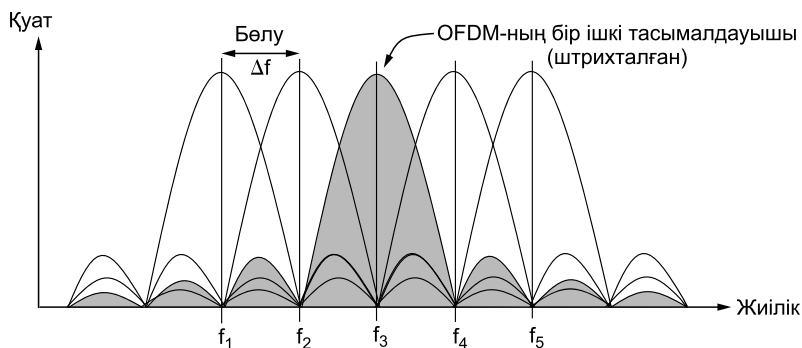
Цифрлық деректердің тасымалдануында қорғаныс бөлуін пайдаланбай, спектрге бөлуі мүмкін. Ал OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – мультиплекстік ортогональдық жиіліктің айыруы) арнаның сызбасы көп бөлшектерге бөлінген, мысалы квадраттық, амплитудалық, модуляциялық.

Салмақ түсетін сигналдан төменгілер жеке облыста бір-бірімен тығыз байланысқан, сондықтан әр белгіден олар шектес көсіледі. 2.22-суретте көрсетілгендей жиіліктің әр мінездемесі олардың іргелес аймақтарында нөл болатындай өңделген.

Осы үрдістің жұмыс істеуі үшін, уақыттың қорғаныс интервалы қажет. Дегенмен бұл қызметтік шығындар қорғайтын жолақтардың үлкен санына қарағанда әлдеқайда аз.

OFDM идеясы бұрынғы заманнан бар болған, бірақ ол тек қана өткен он жылдықта Фурье түрлендіруін сандық деректерге қолданудың негізінде кеңінен тарай бастады. Оны ұялы жүйенің төртінші кезеңінде кеңінен пайдалану жоспарлаған. Әдетте жоғары жылдамдықты цифрлық ақпараттың бір ағыны

көптеген төменжылдамдықты ағындарға бөлінген, бұл бөлінудің мағынасы зор, өйткені арнаның ақауларын салмақ көтеретіндер деңгейінде реттеген дұрыс.



2.22-сурет. Ортогональді жиілік бөлінуі бар мультиплекстеу

2.5.4. Уақытты тарату негізінде мультиплекстеу

FDM баламасы (TDM – Time Division Multiplexing, уақытты тарату негізінде мультиплекстеу). Бұл жерде қолданушылар шеңбер бойымен ауысып отырады, әрқайсысы бүкіл жолақты уақыттың қандай да бір бөлігінде толығымен алып отырады. TDM көмегімен мультиплекстенген үш ағынның мысалы 2.23-суретте көрсетілген. Әр кірістегі ағыннан шыққан биттер бекітілген уақытқа алынған және жиынтық ағынға шығарылған. Бұл ағын жеке ағындардың жиынтық жылдамдығымен қозғалады. Ол үшін ағындар уақыт бойынша синхрондалған болуы керек. Кішкене қорғаныс интервалдары, жиіліктің қорғаныс жолағы сияқты, синхрондаудың кішігірім ауытқуларын толықтыру үшін қосыла алады.



2.23-сурет. Уақытты тарату негізінде мультиплекстеу (TDM)

TDM ұялы байланыс телефон желісі және ұялы байланыс желілерінде кеңінен қолданылады. Шатастыруды болдырмау үшін оның статистикалық уақыт бойынша тарату (STDM) тәсілінен өзгеше екенін айта кетейік. «Статистика» деген сөз мультиплекстенген ағынға жекеленген ағындар бекітілген ретпен емес, олардың сұраныс статистикасына байланысты келіп түседі дегенді білдіреді. STDM – дестелік коммутацияның басқаша аталуы.

2.5.5. CDM- арналардың кодқа бөлінуі

FDM және **TDM** жүйелерінен мүлдем басқаша жұмыс істейтін мультиплекстеудің үшінші түрі бұл – **CDM** (мультиплексордың кодқа бөлінуі, кодтың арналарға бөлінуі). Бұл таржолакты сигналдың жиіліктерін анағұрлым кең жолағы бойынша таралатын таратылған сектордың байланыс түрі болып табылады. Бұл тәсіл оларды кедергілерге шыдамды етеді, сонымен қатар жалпы жиілік диапазонын бірнеше қолданушыға бірлесіп қолдануды қамтамасыз етеді. Кодтық таралуы бар мультиплекстеу көбінесе соңғы мақсаттарда қолданатындықтан, оны әдетте негізгі атауы (**CDMA Code Devison Multiple Access, кодтық бөлінуі бар көпқолжетімдік**).

CDMA жүйесінде әрбір станция тасымалдау кезінде барлық уақытта жиіліктің толық спектрін қолдана алады. Бір уақыттағы көптеген қолжетімдік кодтар теориясының негізінде қамтамасыз етіледі. Алгоритмнің жұмысын талдамастан бұрын келесі ұқсас есепті қарастырайық.

Көз алдыңызға аэропорттағы күту залын елестетіңізші. Адамдардың көптеген жұбы әңгіме үстінде. Уақытша нығыздалуды адамдар жұбының барлығының кезекпен сөйлесуіне ұқсатуға болады. Жиілікті нығыздауды әр адамның дыбыстың әр түрлі деңгейінде сөйлеуін ұқсатуға болады, біреуі жіңішке, біреуі жуан дауыста сөйлейді, бірақ бір-бірінен тәуелді емес. **CDMA** үшін ең жақсы салыстыру: бәрі бір уақытта, бірақ әрбір әңгімелесуші жұп өзінің тілінде сөйлейді. Француз тілінде сөйлейтіндер, басқа жұптардың сөйлесуін шу ретінде қабылдайды да, барлығы туралы әңгіме соғады. Сонымен, **CDMA** – басқаларды елемей отырып, пайдалы сигналды бөліп алу. Әрі қарай **CDMA** технологиясының қарапайым сипатталуы келтіріледі.

CDMA-да әрбір биттік интервал аталуы қарапайым сигнал немесе чип (chip) деп аталатын m қысқа периодтарға бөлінеді. Әдетте биттік интервалға 64 немесе 128 қарапайым сигналдар сияды. Біздің мысалда қарапайымдылық үшін биттік интервал әрбір бит үшін 8 элементар сигналды сыйғызады деп есептейміз. Әрбір станцияға элементар тізбек деп аталатын ерекше m -битті код сәйкес келеді. Педагогикалық пайымдаулардың негізінде биполярлық жазбаны -1 және $+1$ тізбектерінің түрінде пайдаланған ыңғайлы. Жақшаның ішінде элементар тізбектерді көрсетеміз.

Бір битті тасымалдау үшін станция өзінің элементар тізбегін жібереді. Мәні 0 болатын битті тасымалдау үшін элементар тізбектің орнына оның толықтауышын жіберу керек (тізбектің барлық бірлері нөлдерге, ал нөлдері бірлерге ауысады). Басқа комбинацияларды тасымалдауға рұқсат етілмейді. Сонымен, егер $m=8$ болса және А станциясына $(-1-1-1+1+1-1+1+1)$ тізбегі сәйкес болса, онда ол элементар тізбекті тасымалдай отырып «1» битін және $(+1+1+1-1-1+1-1-1)$ тізбегін тасымалдай отырып «0» битін жібере алады. Бұл жерде кернеу деңгейі сондай болатын нақты сигналдар жіберіледі, бірақ бізге олар туралы сандар тізбегі деп ойлау жеткілікті. Тасымалданатын ақпараттың санын ұлғайтуға қол жеткізу (жылдамдығы b бит/с болуы үшін, секундына mb элементар сигналдарды жіберу

керек) тек өткізу мүмкіндігін m рет ұлғайтудың арқасында ғана болады. Сонымен, CDMA үшін CDMA-ны қолданбайтын станцияға қарағанда (модуляция және кодтау тәсілдерінде ешқандай өзгертулер болған жоқ деп есептесек) m есеге үлкен өткізу мүмкіндігі қажет. Егер 100 станция оған жұмыс істейтін ені 1 МГц болатын жолақ бар болса, онда жиілік нығыздалу кезінде олардың әрқайсысы өзінің 10 кГц алатын еді де 10 Кбит/с жылдамдықпен жұмыс істейтін еді (айталық 1 бит/Гц қолданылды делік). CDMA жағдайында әрбір станция диапазонның барлық енін пайдаланады (1 МГц), сондықтан элементар сигналдарды тасымалдау жылдамдығы жүзге жақындайды және станцияның 10 Кбит/с өткізу мүмкіндігін барлық арналарға «жағады».

2.24 а, ә-суреттерінде төрт станцияның элементар тізбектерін және оларды көрсететін сигналдарды келтіреміз.

Әрбір станцияның өзінің ерекше элементар тізбегі бар. S символы арқылы S станциясының ұзындығы m болатын векторын, \bar{S} арқылы оның толықтауышын белгілейміз. Барлық элементар тізбектер жұбымен ортогональ. Біз бұл жерде әр түрлі екі элементар S және T тізбектерінің нормаланған скаляр көбейтіндісінің ($S \cdot T$ деп жазылады) нөл болатынын меңзеп отырмыз. Мұндай тізбектердің Уолш кодтары деп аталатын тәсіл арқылы генерацияланатыны белгілі. Математикалық жазуды пайдалана отырып жоғарыда айтқандарды келесідей келтіруге болады:

$$S \cdot T \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0 \quad (2.3)$$

Қарапайым тілмен айтқанда, қанша жұп болса сонша әртүрлі жұп бар. Ортогональдылықтың бұл қасиетін біз сәл кейінірек дәлелдейміз. Мынаған көңіл аударыңыз: егер $S \cdot T = 0$ болса, онда $S \cdot \bar{T} = 0$. Кез келген элементар тізбектің өзіне өзі нормаланған скаляр көбейтіндісі бірге тең:

$$S \cdot S \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i S_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\pm 1)^2 = 1$$

Шындығында да, сумманың m қосылғышының әрқайсысы бірге тең болғандықтан, барлық сумма m -ге тең. $S \cdot S = m$ екеніне де назар аударыңыздар.

Әрбір биттік интервал бойында станция өзінің элементар тізбегін жібере отырып не бірді, не толықтауыш тізбекті жібере отырып нөлді немесе үндемей қойып ешнәрсе тасымалдамауы да мүмкін. Айталық, барлық станциялар уақыт бойымен синхрондалды, яғни барлық тізбектер бір уақытта жіберіле бастады делік. Егер бір немесе одан да көп станциялар бір уақытта тасымалдауға тырысса, олардың биполярлы сигналдары сызықты түрде қосыла бастайды. Мысалы, егер бір элементар сигналды тасымалдау кезінде үш станция +1-ді, ал бір станция -1-ді жіберсе, онда нәтижесінде +2 болады. Мұны кернеулердің қосындысы ретінде қарастыруға болады: үш станцияның шығысында +1В болады, ал бір станцияның шығысында -1В болады. Қосудың нәтижесінде +2В аламыз.

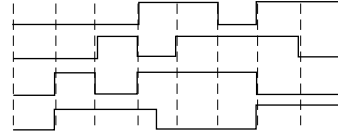
$$A = (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$$

$$B = (-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)$$

$$C = (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)$$

$$D = (-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1)$$

(а)



(ә)

$$S_1 = C = (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)$$

$$S_2 = B+C = (-2 \ 0 \ 0 \ 0 +2 +2 \ 0 -2)$$

$$S_3 = A+B = (0 \ 0 -2 +2 \ 0 -2 \ 0 +2)$$

$$S_4 = A+B+C = (-1 +1 -3 +3 +1 -1 -1 +1)$$

$$S_5 = A+B+C+D = (-4 \ 0 -2 \ 0 +2 \ 0 +2 -2)$$

$$S_6 = A+B+\bar{C}+D = (-2 -2 \ 0 -2 \ 0 -2 +4 \ 0)$$

(б)

$$S_1 \cdot C = [1+1-1+1+1+1-1-1]/8 = 1$$

$$S_2 \cdot C = [2+0+0+0+2+2+0+2]/8 = 1$$

$$S_3 \cdot C = [0+0+2+2+0-2+0-2]/8 = 0$$

$$S_4 \cdot C = [1+1+3+3+1-1+1-1]/8 = 1$$

$$S_5 \cdot C = [4+0+2+0+2+0-2+2]/8 = 1$$

$$S_6 \cdot C = [2-2+0-2+0-2+4+0]/8 = -1$$

(в)

2.24-сурет. Тізбектер: а – төрт станцияға арналған элементар екілік тізбектер; ә – биполярлы элементар екілік тізбектер; б – тасымалдаудың алты мысалы; в – С станциясының сигналдарын қалпына келтіру

2.24 б-суретте бір уақытта бір немесе бірнеше станция қатысатын тасымалдаудың алты мысалы келтірілген. Бірінші мысалда С екілік битті жібереді, сондықтан біз осы станцияның қарапайым элементар тізбегін аламыз. Екінші мысалда В да, С да екілік биттерді жібереді, нәтижесінде біз олардың биполярлық тізбектерінің қосындысын аламыз, атап айтқанда

$$\begin{aligned} & (-1-1+1-1+1+1+1-1) + (-1+1-1+1+1+1-1-1) = \\ & = (0 - 2 \ 0 \ 0 \ 0 + 2 + 2 \ 0 - 2) \end{aligned}$$

Әрбір станцияның бастапқы биттік ағынын қалпына келтіру үшін қабылдағыш барлық тасымалдағыштардың элементар тізбектерін алдын ала біліп отыруы керек. Қалпына келтіру алынған тізбектің және бастапқы сигналы қалпына келтіріліп жатқан станцияның элементар тізбегінің нормаланған скаляр көбейтіндісін есептеу арқылы жүреді (яғни барлық станциялар сигналдарының сызықты суммасы). Егер S элементар тізбегі алынса және қабылдағыш элементар тізбегі C болатын станцияның не жібергенін түсінгісі келсе, онда $S \cdot C$ нормаланған скаляр көбейтінді есептеледі.

Осы айтылғандардың қалай жұмыс істейтінін түсіну үшін A және C станцияларын қарастырайық. Айталық, B станциясы нөлдік битті жіберген сәтте, екеуі де бірлік битті жіберді делік. Қабылдағыш шамасы $S = A + \bar{B} + C$ тең болатын сигналдардың қосындысын алады да, келесі көбейтіндіні есептейді:

$$S \cdot C = (A + \bar{B} + C) \cdot C = A \cdot C + \bar{B} \cdot C + C \cdot C = 0 + 0 + 1 = 1$$

Алғашқы екі қосылғыш нөлге тең, себебі себебі барлық жұптар олар ортогональ

болатындай өте мұқият таңдалған (2.3-өрнекті қараңыз). Элементар тізбектерге неге осы шарттың қойылғандығы енді түсінікті болды.

Қайтадан 2.24 б-суретте келтірілген алты мысалды қарастырайық. Бұл тізбектерді декодтаудың нақты нәтижесі 2.24 в-суретте келтірілген. Айталық, қабылдағыш барлық $S_1 - S_6$ тізбектердің ішінде С станциясынан келген биттер ағынын бөліп алуға мүдделі делік. Ол үшін қабылдағыш әр битті алынған тізбек (S) пен (C) векторының жұп көбейтінділерін қосып (2.24 б-суретті қараңыз), нәтижені 8-ге бөледі (себебі нақты жағдайда $m=8$).

Қарап отырсаңыздар әр жағдайда дұрыс бит табылып отыр. Бұл француз тілінде сөйлегендей өте оңай!

Біз қарастырған шуды ескермейтін идеалды CDMA жүйелерінде сигналдарды бір уақытта тасымалдайтын станциялардың мүмкін болатын саны мейлінше үлкен болуы мүмкін, бұл жағдайда чиптердің анағұрлым ұзын тізбегі қолданылады. 2^n станциялар үшін Уолш кодтары ұзындығы 2^n болатын 2^n ортогональ тізбекпен қамтамасыз ете алады. Бірақ бір ғана айтарлықтай шектеу бар – біз барлық чиптер қабылдағышта уақыт бойынша синхрондалған деп есептедік. Бұл синхронизация ұялы байланыс сияқты қосымшаларда тіпті жуықтап та орындалмайды (бұл қосымшаларда CDMA 1990 жылдардан бастап қарқынмен енгізіле бастады).

Біз бұл тақырыпқа қайтып ораламыз және асинхронды CDMA-ның синхронды CDMA-дан ерекшелігін сипаттаймыз.

Ұялы байланыстан бөтен CDMA спутниктерде және кабельді желілерде қолданылады. Біз өзіміздің қысқа да қарапайым таныстыруымызда көптеген күрделі факторларды қарастырмадық. CDMA туралы тереңірек білгілері келген инженерлер Viterbi (1995), Lee және Miller (1998) еңбектерін қарауы керек. Бұл материалдарды оқу байланыс инженерия саласында терең білімді қажет етпейді.

2.6. ЖАЛПЫ ҚОЛДАНЫСТАҒЫ КОММУТАЦИЯЛАУШЫ ЖЕЛІ

Бір компанияға тиесілі және бір-бірінен қашықта орналасқан компьютерлердің арасында байланыс орнату үшін көп жағдайда ең қолайлысы – олардың арасында кабель жүргізу. Локальді желілер осылайша жұмыс істейді. Бірақ, егер арақашықтық өте үлкен немесе компьютерлердің саны көп болса, онда кабельді жолға немесе қандай да бір мемлекеттік магистралға көлденеңінен жүргізу керек, мұндай кабельдік біріктірудің бағасы өте қымбат болады. Сонымен қатар көптеген елдерде кабельді мемлекеттік меншіктегі объектілердің үстімен немесе астымен жүргізуге заң тұрғысынан тыйым салынған. Сондықтан желілерді жобалаушылар қолдағы бар телекоммуникациялық құралдарға сүйенуі керек.

Осындай байланыс құралдары, мысалы жалпы қолданысқа арналған коммутацияланған телефон желісі (PSTN, Public Switched Telephone Network) мүлде басқа мақсатпен – адам баласының дауысын неғұрлым танитындай етіп тасымалдау – бірнеше жыл бұрын құрылған еді. Оларды компьютерлерді бір-бірімен жалғау үшін пайдаланудың мәні аз ғана еді.

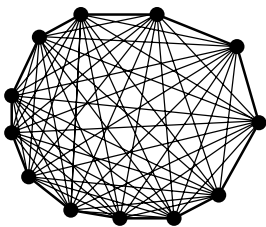
Мәселенің көлемін анықтау үшін, айталық екі компьютерді жалғайтын тұтыныстағы арзан кабель деректерді 1 Гбит/с жылдамдықпен тасымалдай алады. Осы тұста телефон модеміне тамаша балама болатын кәдімгі ASDL 1 Мбит/с шамасында жұмыс істейді. Бұл айырмашылық – ұшақта және жәй серуендеп жүрудің арасындағы айырмашылық сияқты.

Десе де, телефон желісі ғаламдық компьютерлік желілермен тығыз байланысқан, сондықтан бұл мәселені зерттеу үшін біршама уақыт бөлу керек. Желіні ұйымдастырудың шектеулі факторы телефон желісінің магистральдары мен коммутаторлары емес, клиенттер жалғанған «соңғы миль» екен.

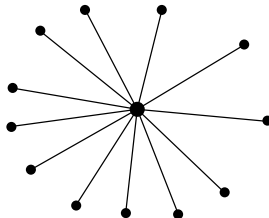
Жағдай оптоалшықты байланыс пен сандық технологияны желінің шетінде енгізуге байланысты өзгереді, бірақ бұл ақша мен уақытты талап етеді. Ұзақ уақыт бойында өнімділігі үш есе көп болатын құрылғылармен жұмыс істеуге үйренген компьютерлік жүйелерді жобалаушылар телефон желісін тиімді пайдалануды айқындау үшін көп күш жұмсады. Біз келесі тарауларда телефон жүйесін сипаттаймыз және ол қалай жұмыс істейтінін көрсетеміз. Телефон жүйесі туралы қосымша мәлімет алу үшін (Bellamy, 2000) кітапты қараңыз.

2.6.1. Телефон жүйесінің құрылымы

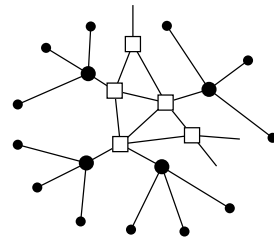
Содан кешікпей 1876 жылы Александр Грэхем Белл (Alexander Graham Bell) (өзінің бәсекелесі, Элиш Грейден (Elisha Gray) бар болғаны бірнеше сағат бұрын) телефонды патенттеді, оның өнертабысы үлкен сұранысқа ие болды. Бұл нарықтық сектор бастапқыда жұбымен сатылған телефондық құрылғыларды сатумен шұғылданды. Олардың арасында жалғыз өткізгішті тарту сатып алушыға жүктелген еді. Егер телефон иесі басқа телефондардың n иелерімен сөйлескісі келсе, онда ол барлық n үйге жеке өткізгіштер төсеуі керек болды. Қалада мұндай телефон желісінің пайда болуының бірінші жылының өзінде-ақ қалалар үйлермен және ағаштардың үсінде ұзын-шұбақ өткізгіштерден тұрған осы желілер оралып тасталды, бұл толық тәртіпсіздікке әкелді. Телефондарды «әркімді әрқайсысымен» жалғау моделінің жұмыс істемейтіндігі анық болды.



(a)



(э)



(б)

2.25-сурет. «Әркімді әрқайсысымен» моделі (a); орталықтандырылған коммутатор (э); екідеңгейлі бағыныштысаты (б)

Белдің абыройына орай, ол бұл құбылысты байқап қалды да, 1878 жылы Нью-Хэйвеннің Коннектикут штатында өзінің алғашқы кеңсесін ашқан Bell Telephone Company телефон серіктестігін негіздеді. Серіктестік әр қолданушының үйіне немесе кеңсесіне өткізгіш салды. Телефон шалу үшін қолданушы оның қаламын айналдыруы керек болды, нәтижесінде қоңырау оператордың назарын аудару үшін телефон компаниясының кеңсесінде естілетін, оператор телефон шалушыны, айырды қажетті ұяға қолмен қадау арқылы, тиісті нөмірмен жалғайтын еді.

2.25 *а-суретте* бір коммутаторы бар телефон желісінің құрылымы бейнеленген.

Көп кешікпей Bell System компаниясының мұндай кеңселері барлық жерде пайда бола бастады, қалааралық байланысқа сұраныс арта бастағандықтан, Bell System өз кеңселерін сабақтастыра бастады. Көп ұзамай олар тағы да әлгі мәселеге тап болды: кеңселерді бір-бірімен жалғау шешімі болмайтын есепке әкелді, сондықтан екінші деңгейлі кеңселер құрылды (2.25 *б-сурет*). Біршама уақыттан кейін екінші деңгейдің кеңселерінің саны өте үлкен болып кетті. Ақыр соңында бағынышты сатылы деңгейдің саны беске дейін жетті.

1890 жылы телефон жүйесінің үш негізгі бөлігі құрылды: коммутаторлық телефон станциялары, тұтынушыларды өздерімен байланыстыратын сызықтар (енді екіншісінің орнына тендестерілген, окшауланған иілген жұптар) және жеке телефон станцияларын байланыстыратын қалаарлық байланыс сымдары.

Телефон жүйесінің қысқаша техникалық тарихын (Hawle, 1991) кітабынан қарасаңыз болады.

Бұл салалардың әрқайсысында жақсарту жұмыстары жүргізіліп отырғанымен, Bell System моделінің негізі 100 жылдан астам уақыт өзгеріссіз қалды. Төменде келтірілген сипаттама өте ықшам болғанымен, ол әйтсе де істің мән-жайын толық баяндап береді. Әрбір телефон жақын маңдағы телефон станциясымен (ол, сондай-ақ, жергілікті орталық станция деп аталатын) екі мыс сымның көмегімен жалғанған. Әдетте телефоннан жақын маңдағы коммутаторға дейінгі қашықтық 1-ден 10 км-ге, қалаларда ауылдық жерге қарағанда анағұрлым аз болатын.

Тек бір ғана құрама штаттарында 22000 шеткі телефон станциялары бар. Әрбір абоненттің телефоны мен шеткі телефон станциясы екі сымды жалғау жергілікті байланыс сымы (немесе жергілікті контур) деп аталады. Егер дүние жүзінің жергілікті сымдарын тізбекті түрде бір сызықпен жалғастырса, онда оларды Айға дейін және одан кері 1000 рет созу мүмкін болар еді.

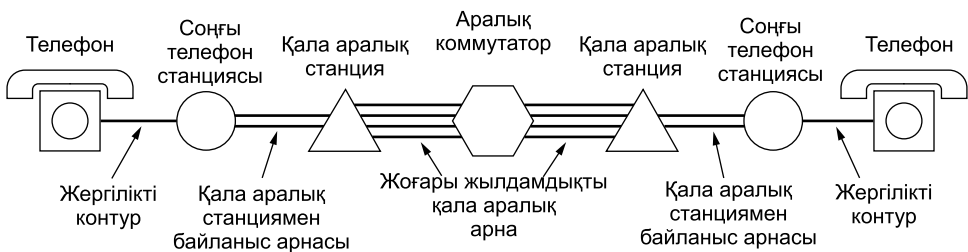
Бір кезде AT&T компаниясы капиталының 80% жергілікті байланыс жолдарының мыс сымдарына салынған еді. Осылайша AT&T компаниясы әлемдегі ең үлкен мыс шахтасы болып саналған еді. Бақытқа орай, бұл айғақ инвесторлар қауымдастығына дейін жетпеген еді. Кері жағдайда қандай да бір корпорациялар AT&T компаниясын барлық сымдарымен қоса сатып алатын еді де, оларды шапшаң пайда табу мақсатында мыс байыту комбинаттарына қайта сатып жіберетін еді. Нәтижесінде, АҚШ-та барлық телефондық байланыс тоқталатын еді.

Егер шеткі коммутаторға қосылған абонент сол коммутаторға қосылған басқа абонентке қоңырау шалса, онда жалғастырушы механизм олардың арасында төте электрлік жалғауын орнатады. Бұл жалғау бүкіл сөйлесу уақытында сақталатын болады.

Егер абоненттер әр түрлі шеткі станцияларға қосылған болса, онда басқаша процедура пайдаланылуы керек. Әр шеткі станцияда бір немесе бірнеше коммутациялық орталықтарға жалғанған қаласырты-қалааралық станциялар болады, егер олар бір облыста орналасса, өтпелі станциялар деп аталатын бірнеше сымдары болады. Оларды қосатын сымдар қалааралық деп аталады. Жалғау орталықтарының түрі және олардың топологиясы әр елде телефон тығыздығынан тәуелді әр түрлі.

Егер екі абонент бір қала аралық станцияға қосылса (егер олар бір-бірінен қашық орналасса бұл әбден ықтимал), онда байланыс осы қала аралық станция арқылы орнатыла алады. 2.25 *в-суретте* тек телефон аппараттарынан (кішкентай нүктелер), шеткі коммутаторлардан (үлкен нүктелер) және қалааралық станциялардан (шаршылар) тұратын телефон желісі көрсетілген.

Егер абоненттерде ортақ қалааралық станция болмаса, онда олардың арасындағы байланыс биігірек иерархиялық деңгейде орнатылады. Қала аралық станциялар сызықтармен бір-бірімен жоғары жылдамдықты станция аралық сымдар арқылы байланысады. 1984 жылы, AT&T корпорациясы ыдырағанға дейін телефон жүйесі ортақ коммутатор табылғанға дейін анағұрлым жоғары деңгейге кіретін жолды іздеуге арналған көпдеңгейлі бағынышты сатылы маршрутизатор болып келді. Бұл схема анағұрлым икемді, бағынышты сатылы емес маршрутизациямен алмастырылды.



2.26-сурет. Абоненттер арасында қашықтық үлкен болған жағдайдағы типтес маршрут

Телекоммуникацияда деректерді жіберу орталары кеңінен қолданылады. Жаңа офистық ғимараттар желілері 5 санатты оларға қарағанда, үйдегі жергілікті байланыс 3 санаттан тұрады, ал талшық онда енді пайда болды. Коммутатормен байланыс үшін коасиальді кабель, микротолқынды байланыс және оптоалшық кабельдері қолданылады.

Бұрынғыда телефон байланысы аналогты болған, яғни электрлі кернеу арқылы дауыстық сигнал жіберілген. Оптикалық толқын пайда болған кезден, цифрлық электроника және компьютер арқылы цифрлық сигналдарды иерархияның барлық деңгейінде жіберген, байланыстың жергілікті сызықтарының соңғы аналогты сымдарынан басқа. Цифрлық байланыстың сұранысқа ие болуы себебі, көптеген комму-

татор мен үдеткіштен өткеннен кейін, аналогты белгінің қосу қажеті туындамайды. Сызықтық белгіні анықтау ғана қажет: 0 немесе 1. Бұл цифрлық жіберілуі сенімді етеді. Және де ол арзан әрі қызмет көрсетілуі жеңіл.

Телефонды байланыс келесі 3 құрамдас бөліктен тұрады:

1. Жергілікті сызық (аналогты бұрама жұп, олар офис пен үйлерге тартылды);
2. Магистралды сызық (коммутациялық станциямен оптотолқын арасындағы базалық цифрлық байланыс);
3. Коммутациялық станция (бұл шақыртуды бір магистральдан келесі магистралға жібереді).
4. Телефон саясаты тақырыбын қарастырғанда, жоғары аталған құрамдас бөліктерге қайта ораламыз.

Жергілікті сызық – бұл әр абонентті басқа жүйемен байланыстырады, сол себепті бұл компонент өте маңызды болып табылады. Бірақ бұл оның әлсіз жағы да болып есептеледі. Қалааралық магистральдің негізгі проблемасы – көптеген шақыруларды біріктіріп, бірдей кабельмен жіберуде. Бұл тығыздық немесе арнаны мультиплекстеу деп аталады және ол үшін біз жиілік және уақыттық тығыздықты пайдаланамыз. Біз мультиплекстеудің үш стратегиясын оқып үйренеміз. Соңынан, коммутацияның екі әр түрлі тәсілі бар, оларды да біз кейінірек қарастыратын боламыз.

2.6.2. Телефония саясаты

1984 жылға дейін Bell System корпорациясы АҚШ да локальды және қалааралық байланыс қызметтерін көрсетіп отырды. 1970 жылы АҚШ бұл монополия заңсыз екенін түсініп, AT&T компаниясын сотқа береді, Үкімет сот процессін жеңіп, 1984 жылдың 1 қаңтарынан бастап AT&T компаниясы AT&T Long Lines, BOC (Bell Operating Company) 23 аймақтық телефон компаниясы және тағы бірнеше компанияларға бөлінді. BOC 23 компаниясы RBOC-тың 7 аймақтық компаниясына экономикалық жағдайын көтеру үшін қосылды. Сот шешімі бойынша бір түнде телекоммуникацияның барлық құрылымы өзгертілді.

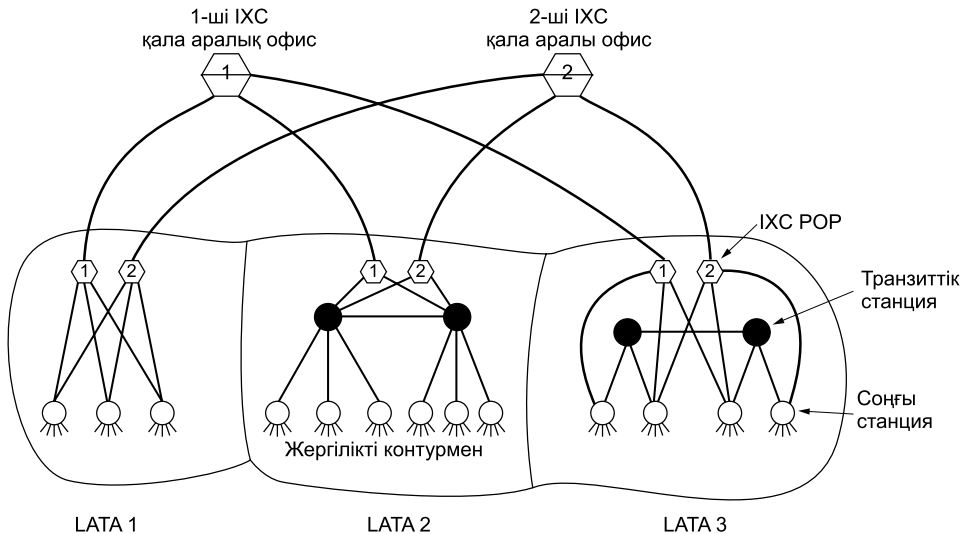
Бұл процедура MFJ құжатында толығымен сипатталды. (Modified Final Judgment – өзгертілген соңғы соттық шешім). Бұл өзгертулер жеке және корпоративті абоненттер үшін бәсекелестіктің жоғарылауына, алыс байланыс бағаларының төмендеуіне әкеліп соқты. Бірақ сонымен қатар, аймақтық байланысқа бағалар жоғарылап кетті, себебі экономикалық баланс тұрақты болмады. Көптеген мемлекеттерде қазір аналогты сызықтар арасындағы бәсекелестік мәселесін қарау сұрағы туындады.

Нақты қандай жұмыспен айналысуды анықтау үшін АҚШ 164 аймаққа бөлінді. Ол LATA (Local Access and Transport Area – жеке қолжетімдік аймағы және транспорт). LATA аймағы телефондық кодтары бірдей аймақтармен сәйкес келген. LATA аумағында бір локальды оператор байланысы LEC (Local Exchange Carrier –

аймақтық телекоммуникация компаниясы), бұл ұлттық телефон қызметінде LATA аймағында монополияға ие болған. LEC компаниясының басты операторының бірі ВОС компаниясы болып есептелінеді, бірақ LATA компаниясының кейбір аймақтарында LEC компаниясының орнына тәуелсіз телефонды компаниялардың бірі қызмет атқарады. Олардың негізгі саны 1500 ден асады.

Тағы бір ерекшелік – LATA компаниясы аймақтар арасында басқа компаниялармен де байланыста болды. Ол алыс байланыс операторы IXC (Interexchange Carrier). Бастапқыда AT&T Long Lines ғана ірі алыс байланыс операторы болатын, бірақ WorldCom және Sprint корпорациялары оларға бәсекелестік туғызды. AT&T корпорациясын бөлуде басты мәселелерінің бірі, байланыс иелерінің барлығы дерлік алыс байланысты, телефон тарифтары мен нөмір көлемдерін бірдей деңгейде ұсынуы. 2.27-суретте көрсетілген. Мұнда LATA аймағының бірнеше телефон станцияларының шеті 3 мысалда көрсетілген. LATA аймағының 2 және 3 өзіне иерархиялық құрылысын транзиттік станциясымен байланыстырады.

Кез келген алыс байланыс сымының қожайыны LATA аймағында өзінің POP (Point of Presence – бар болу нүктесі) деп аталатын осы аймақтан шығатын қоңырауларды өңдейтін коммутаторын құра алады. Жергілікті байланыс операторы LEC әрбір алыс байланыс сымының қожайынын әрбір шеткі станциямен LATA 1 және 3 жағдайындағы сияқты не тура, не LATA 2 жағдайындағы сияқты транзитті коммутатор арқылы жалғай алады. Сонымен қатар, техникалық та, финанстық та жалғау шарттары әрбір алыс байланыс сымының қожайыны үшін бірдей болуы керек. Бұл жағдайда, айталық LATA 1 аймағындағы абонент LATA 3 аймағындағы алыс байланыс сымының қожайынын таңдай алады.



2.27-сурет. LATA, LEC және IXC арасындағы қарым-қатынас. Дөңгелек арқылы LEC коммутаторлары белгіленген. Алтыбұрыштар, нөмірлері ішінде көрсетілген, IXC-ке тиесілі.

MFJ құжатының қоятын тағы бір талабы – алыс байланыс сымдары қожайындарының жергілікті байланыс аймағында, ал байланыс операторларына халықаралық байланыс саласында қызмет көрсетпеуі. Ешқандай басқа шектеулер қойылған жоқ және барлық бұл компаниялар семіз балапандар т.б. сауда істей алатын еді. 1984 жылы бұл заң толығымен екімағыналы болды. Бірақ өркендеп келе жатқан жаңа технология заңмен қатал әзіл ойнады, нәтижесінде заң ескірген деп танылды. Мәселе не кабельді теледидар, не ұялы байланыс соттың шешімінде ескерілмеді. Кабельді теледидардың біржақтыдан екі жақтыға көшуі, ал ұялы телефондар танымал бола бастағандықтан жергілікті байланыс операторлары да, талабы алыс байланыс сымдары қожайындары да кабельді және ұялы байланыс операторларымен біріге немесе оларды сатып ала бастады.

1995 жылы АҚШ Конгресі әр түрлі компаниялардың айырмашылығын әрі қарай қолдауды доғарып, кабельді теледидармен айналысатын компанияларға, жергілікті телефон компанияларына, алыс байланыс операторларына және ұялы байланыс операторларына байланыстың іргелес салаларында кез келген қызметті көрсетуге рұқсат беретін заңды шығарды. Мұндағы мақсат – компаниялардың кабельді теледидар, телефон және ақпараттық сервистарды қамтитын қызметтің біркелкі шоғырланған дестесін тұтынушыға ұсыну. Осылайша компаниялар бір-бірімен қызметтің сапасы мен бағасы бойынша бәсекеге түседі. 1996 жылдың ақпан айында заң жобасы заң болып қалыптасты, нәтижесінде көптеген ВОС-тар ІХС-ге айналды, ал компаниялар, мысалы кабельді теледидармен айналысатындар ЛЕС-пен бәсекелесе отыра жергілікті телефон байланысы қызметін ұсына бастады.

1996 жылғы заңда бір қызық жағдайды аңғаруға болады: жергілікті байланыс операторлары телефонның локальді нөмірінің тасымалдаушылығын жүзеге асырулары керек еді. Бұл абоненттің өзінің телефон нөмірін сақтай отырып, операторды ауыстыра алады дегенді білдіретін еді.

Ұялы телефондар нөмірлерін алып жүру (стационар ұялы телефондар арасында да) 2003 жылдан өріс ала бастады. Бұл шарттар көптеген адамдар арасында орын алған кедергілерді жоя бастады. Нәтижесінде АҚШ-тың телекоммуникационды ландшафты тағы да бірқатар маңызды өзгерістерге ұшырады. Бұл бастаманы тағы да көптеген елдер қолдады. Көп жағдайда осылай болады да: әлемдік қауымдастық АҚШ-та өтіп жатқан эксперименттерді бақылап отырады, егер олардың нәтижесі оң болса, көптеген елдер бұл тәжірибені қолданады. Егер нәтиже оң болмаса, онда әрбір ел өзінікін жүзеге асыруға тырысады.

2.6.3. Жергілікті байланыс желілері: модемдер, ADSL, сымсыз байланыс

Телефон жүйесінің жұмыс қағидаларын толығымен үйренетін уақыт келген сияқты.

Адамдардың көпшілігі білетін телефон бөліктерімен танысуды бастаймыз. Сонымен, телефон станциясынан үй және шағын ұйымдарға баратын екі сымды

желі бар. Жергілікті желі бірнеше мильге созылғанына қарамастан, бұл бөлік кейде соңғы миль деп аталады. Осы бөлікте 100 жылдың көлемінде ұқсас (аналогтік) байланыс қолданылып келеді, жақын бірнеше он жылдықта жағдай өзгермейтіндей (цифрлық желілерге көшудің қымбаттығынан).

Қолданыстағы жергілікті жез сымды желілерден деректерді тасымалдау үшін желілерді қысуға көп жұмыс атқарылды. Телефондық модемдер тар арна арқылы компьютерлер арасында телефондық желі дауыстық қоңырау үшін қарастыратын цифрлық деректер жібереді. Олар кезінде кең қолданысқа ие болған, бірақ көпшілігі Интернетке шығу үшін жергілікті желіні клиенттен соңғы станцияға цифрлық деректерді жіберетін ADSL сияқты кең жолақты технологиялармен ауыстырылған. Модем де, ADSL де салыстырмалы тар өткізгіштік қабілет, сигналдардың әлсіреуі және бұрмалануы және тоғыспалы нысана секілді электрлік шуға әсерлілігі сияқты қасиетке ие ескі шектеулі жергілікті желілермен жұмыс жасауы керек.

Кей жерлерде оптоалшықтың көмегімен жергілікті желі жаңартылған. Болашақ оптоалшықта. Мұндай желілер компьютерлік желілерді басынан қолдайды. Шектеуші фактор – ақшада. Туындайтын сұрақ: адамдар қосымша мүмкіндіктер үшін төлеуге дайын ба?

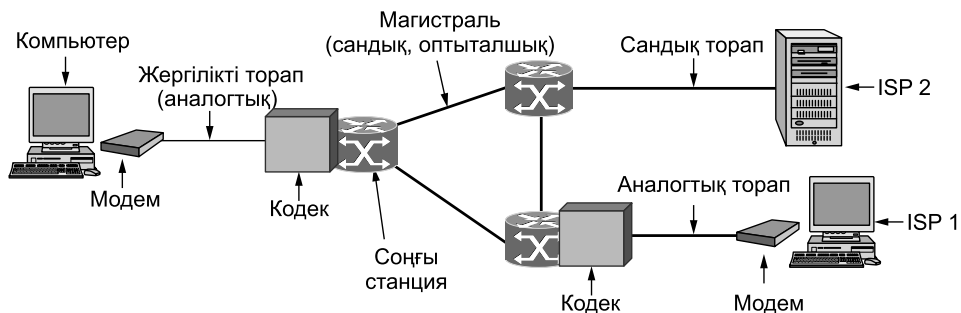
Біз аталған бөлімде жергілікті желілердің дәстүрлі құрылысымен қатар осы саладағы жаңа серпілістерді қарастырамыз. Біз телефон модемдерін, ADSL және оптоалшықты қосылуларды қарастырамыз.

Модемдер

Биттерді жергілікті байланыс желісі немесе басқа физикалық арна арқылы жіберу үшін биттерді арналар арқылы тасымалдау мақсатында аналогтік сигналдарға айналдыру керек. Бұл айналдыру өткен тарауда үйренген цифрлық модуляция әдістерін қолдану арқылы іске асады. Арнаның басқа бөлігінде аналогтік сигнал қайтадан битке айналады.

Тізбектес бит ағынын қабылдап, оны бір немесе бірнеше әдіс арқылы модуляциялап (өзгертіп) шығыс сигналдарына айналдыратын, сонымен қатар, қайта кері айналдыратын құрылғыны модем («модулятор-демодулятордан» қысқартылған) деп атаймыз. Модемнің бірнеше түрі болады: телефон модемі, DSL модемі, кабельдік модемдер, сымсыз модемдер және т.б. Модем компьютерге кіріктірілген (телефондық модемдер үшін күнделікті қолданыс) болуы мүмкін немесе жеке дара құрал (DSL модемдері немесе кабельдік модемдер) болады. Логика бойынша модем *2.28-суретте* көрсетілгендей компьютер (цифрлық) мен телефон желісі (аналогтік) арасына қойылған.

Модем әңгіменің орнына сөздік телефон желісі (аналогтік) арқылы компьютерлер арасында биттерді жіберуде қолданылады. Негізгі қиындық-сөздік телефон желісінің әңгімені тасымалдауға жеткілікті 3100 Гц-пен шектелуінде. Бұл өткізгіштік қабілет Ethernet немесе 802.11 (WiFi) қолданатын өткізгіштік қабілеттен төрт реттік көлемге кем. Телефон модемінің Ethernet пен 802.11-ге қарағанда деректерді тасымалдау жылдамдығының төрт ретке кем болуы таңғаларлық жайт емес.



2.28-сурет. Аналогтік және цифрлық байланысты компьютерлерді байланыстыруда бір мезетте қолдану. Айналыу модем және кодектің көмегімен жүзеге асырылады

Неліктен бұлай болатындығын есептейік. Найквисттің теоремасына сәйкес, 3000 Гц жиіліктегі (телефондық желі болып табылатын) идеал арна болған күннің өзінде сигналды санауды 6000 жиілігінен артық тасымалдау мүмкін емес. Тәжірибеде модемдердің көпшілігі секундына 2400 санау немесе 2400 бод (байланыс желісі бойынша ақпарат тарату жылдамдығын өлшеу бірлігі, секундына соғатын дабылдың не дискреттік оқиғалардың санына тең) жасайды, санаудағы бит санын ұлғайтуға тырысады, бір мезетте екі жақты трафикке жол береді (әр бағытта әр түрлі жиілік қолдану арқылы).

2400 бод жылдамдықты қарапайым модем логикалық нөлді тасымалдау үшін 0, логикалық бірді тасымалдауға 1 Вольт, символға 1 битпен қолданады. Бір символға екі бит болып, 4800бит/с биттік жылдамдығына жеткендегі QPSK-тің 4 фазасындағыдай 4 түрлі символ қолдану арқылы жақсарту жасауға болады.

Технология дамуымен көптеген жетістіктер мен жоғары жылдамдыққа қол жеткізілді. Көптеген жылдамдықтар үлкен символ топтамасы немесе бірігуін талап етті. Символ саны көп болғанда, амплитуданы не фазаны тапқандағы аз шу да қателікке ұрындыруы мүмкін. Бұл ықтималдылықты азайту үшін әр санау құрамына бірнеше қосымша жөндеу битін қосатын стандарттар жасалған. Мұндай схемаларды **кереге көз кодтау немесе TCM (Trellis-Coded Modulation)** деп атайды. (Ungerboeck, 1987).

Мысалы, V.32 стандартының 9600 бит/с жылдамдыққа жеткізіп, қателікті жөндеуге мүмкіндік беретін 4 битті деректі және 2400 бодты желі үшін символға бір бақылау битті тасымалдайтын диаграммада 32 нүктесі бар. 9600бит/с-тен кейінгі келесі қадам 14400 бит/с болды. Жаңа стандарт **V.32 bis** деп аталды және дискреттеу жиілігі 2400 бод болғанда, санауға 6 бит дерек пен бір бақылау бит жібереді. Қазір жиын мыңдаған символдан тұрады. Соңғы сериядағы модемдер **V.34 bis** стандартына сәйкес жасалған және 2400 бодта 14бит/символ қолдану арқылы жылдамдықты 33600бит/с-ке жеткізген.

Неге осы шек? Модем жылдамдығының 33600 бит/с-пен шектелуі, себебі Шеннон шектеуі орташа ұзындықтағы жергілікті байланыс пен желі сапасына қарай

телефон желісі үшін максимум 35Кбит/с анықтайды. Термодинамика заңдарына сәйкес одан әрі үдету мүмкін емес.

Бірақ жағдайды жақсартатын жол бар. Телефон компаниясы станциясының соңында телефондық желі бойынша тасымалданатын деректер цифрлық формаға айналады (телефондық желінің ядросы аналогтіктен цифрлыққа айналдырылғалы көп болды). Әрқайсысының соңында бір-бірден екі жергілікті желілік байланыс жағдайында шек – 35 Кбит/с. Олардың әрқайсысы сигналға шу қосады. Егер біз жергілікті желілердің біреуінен құтыла алғанда, біз СИГНАЛ/ШУ ҚАТЫНАСЫН ұлғайту арқылы максималды жылдамдықты екі есе өсіретін едік.

Мұндай тәсіл 56Кбит/с бойынша жұмыс істейтін модемдерде іске асқан. Ережеге сәйкес, бір жақ, яғни қамтамасыз етуші (провайдер) ең жақын станция соңынан жоғары сапалы цифрлық тасымалды қабылдайды. Ең кем дегенде бір байланыстың соңында «соңғы миль» болмаса (провайдерлердің көпшілігі тек цифрлық арналарды қолданады), максималды тасымал жылдамдығы 70 Кбит/с-ке жетеді. Егер әрқайсысы аналогтік жергілікті желі бойынша деректерді модем арқылы жіберетін қарапайым екі қолданушының арасында байланыс орнатылса, максималды жылдамдық 33,6 Кбит/с-пен шектеледі.

56Кбит/с (70Кбит/с емес) жылдамдықты модемдердің қолданылу себебі Найквист теоремасына байланысты. Телефондық желімен цифрлық санаулар тасымалданады.

Телефон желісінің өткізгіштік алаңы шамамен 4000 Гц (қорғалған алаңды қоса). Осылайша, сигналды қайта қалпына келтіруге кететін секундтағы максималды санаудың саны 8000-ге тең. АҚШ-та қолданылатын санаудағы бит саны 8-ге тең, оның ішінде 1 бит қолданушы деректерін 56000 бит/с биттік жылдамдықпен дерек тасымалдауға мүмкіндік беретін бақылау биті. Еуропада барлық 8 бит ақпараттық бит болып табылады сондықтан максималды жылдамдық 64000бит/с-ке жетуі мүмкін, бірақ халықаралық келісімге сәйкес шектеу 56000бит/с-ке тең.

Нәтижесінде **V.90** және **V.92** модем стандарттары пайда болды. Олар қолданушыдан провайдер тарапына 3,6Кбит/с және 48Кбит/с жылдамдықпен және кері тарапқа 56Кбит/с жылдамдықпен деректер тасымалдауға мүмкіндік береді. Мұндай ассимметрияның себебі, абоненттің трафигі провайдерге қарағанда бірнеше есе аз болады. Осылайша, алаңның көп бөлігі провайдерден келетін деректер ағынына бөлінген және осылайша оның жұмыс жасау жылдамдығын 56Кбит/с-ке үлкейтеді.

Цифрлық абоненттік желілер

Телефон желісі бойынша байланыс жылдамдығы мәні 56Кбит/с-ке жеткенде, даму осымен тоқталғандай көрінетін. Одан басқа кабельдік теледидар арналары абоненттеріне жалпы кабель бойынша жұмыс жасау барысында 10Мбит/с ұсына бастады. Интернетке қол жетімдік компания бизнесінің бір бөлігіне айналды, телефон компаниялары (бәрінен бұрын, LEC деңгейі) бәсекеге қабілетті басқа жүйелердің қажет екендігін түсінді. Осы мақсатта соңғы нүктедегі қолданушыларға жергілікті желі арқылы цифрлық қызметтер ұсыну керек болды.

Осыдан кейін **xDSL (Digital Subscriber Line-цифрлық абоненттік желі)** деп аталатын ұсыныстар жиыны пайда болды, x әрпінің орнына кез келген әріп тұра алады. Кеңейтілген өткізгіштік қабілеті бар арналарды қолданатын жүйелерді кейде **кең алаңды желілер** деп атайды, бұл термин техникалық емес, коммерциялық болып табылады. Төменде атақты **ADSL (Assymmetric DSL-ассимметриялы DSL)** талдаймыз. Біз DSL, xDSL терминдерін әр түрлілікті көрсету үшін қолданамыз.

Модемдердің өте баяу құрылғы болу себебі – олар дәстүрлі жұмыс істейтін телефон желісі бастапқы адамның сөздерін тасымалдауға және барлық жүйе осы аспектіні оңтайландыруға бағытталуында. Деректер әрдайым телефон жүйесіне бөгде болады. Жергілікті желі бітетін нүктеде (станцияның соңғы нүктесі) сигнал сүзгіге ұшырайды, осылайша 300 Гц-тен аз және 600 Гц-тен көп жиіліктер кесіледі. Кесу дұрыс бұрышты болмайды, екі жақ та 3дБ деңгейге ие, сондықтан екі жақ арасындағы диапазон тек 3100 Гц-ке тең болғанына қарамастан, өткізу алаңы 4000Гц-ке тең деп саналады. Осылайша цифрлық деректерге осы тар арна арқылы өтуге тура келеді.

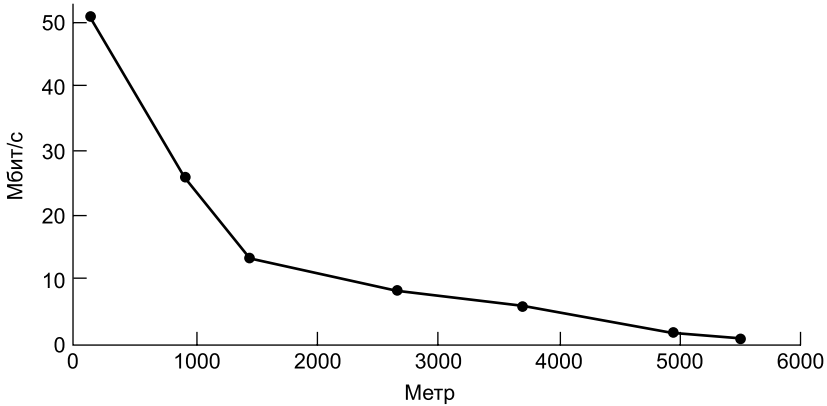
xDSL жұмыс істейтін қағида оның абоненттері жоғарыда суреттелген фильтр жоқ арнайы коммутаторға қосылады, осылайша деректерді тасымалдауға жергілікті желідегі барлық алаң бөлінеді. Бұл жағдайдағы шектеуші фактор жасанды кесіліп алған 3100 Гц диапазон емес, желінің физикалық табиғаты болып табылады.

Өкінішке орай, жергілікті желілердің сыйымдылығы желі ұзындығының артуымен төмендей береді және сигнал сым жағалай нашарлай береді.

Сыйымдылық айналмалы жұптың қалыңдығы мен жалпы сапасына тәуелді. Потенциалды қол жетерлік өткізгіштік қабілеттің желі ұзындығына тәуелділік графигі *2.29-суретте* берілген. Мұндай басқа барлық фактор оңтайландырылған болып саналады (жаңа сымдар, жинақы кабельдер, т.б.).

Мұндай тәуелділікті тудыру телефон компаниясына әжептәуір мәселелерді туындатады. Жұмыстың белгілі жылдамдығы айтылғанда, автоматты түрде аталған ұсыныс іске аспайтын шектің радиусы шектеледі. Бұл – телефон станциясынан әжептәуір алыста тұратын клиентке: «Қызығу-шылығыңызға рахмет, бірақ сіз біздің абонентіміз болуыңыз үшін 100 метрден көп қашықтықта тұруыңыз керек» деген сөз. Ұсынылған жылдамдық қаншалықты төмен болса, қамту радиусы мен клиент саны сонша көп. Жылдамдық қаншалықты төмен болса, ұсыныс қызығушылықты кемітеді және аз клиент ақшасын салуға келіседі. Бұл бизнес пен технологияның түйісетін торабы.

xDSL қызметтері арнайы мақсаттар үшін жасалған. Біріншіден, олар категория 3-тің еспе жұбын көрсететін қолданыстағы жергілікті желі бойынша жұмыс істеу керек еді. Екіншіден, олар абоненттің телефон және факс сияқты құрылғыларына әсер етпеу керек еді. Үшіншіден, жұмыс жылдамдығы 56Кбит/с-тен жоғары болу керек еді. Төртіншіден, олар қызмет ай сайын минутқа емес, бекітілген абоненттік төлем бойынша төленіп, үздіксіз байланыс ұсыну керек еді.



2.29-сурет. UTP категория 3 бойынша DSL үшін өткізгіштік қабілеттің қашықтықтан тәуелділігі

1,1 МГц спектріндегі техникалық мақсаттарды қанағаттандыру үшін жергілікті желілер әрқайсысы 4312,5 Гц болатын 256 тәуелсіз арнаға бөлінді. Бұл бөліну 2.30-суретте көрсетілген. ADSL жайлы бірінші ұсыныс AT&T компаниясынан келді және іс 1,1 МГц болатын жергілікті желіні үш жиіліктік диапазонға бөлу арқылы атқарылды.

Өткен тарауда қарастырған OFDM сұлбасы осы арналар бойынша деректер жіберетін, ADSL-дің себепкерлігімен **Дискретті мультитонды модуляция, DMT(Discrete Multitone)** атауына ие болды. Арна **POTS (Plain Old Telephone Service-қарапайым телефон желісі)** үшін қолданылды. 1-5 аралығындағы арналар дауыстық сигнал ақпараттықпен әсерлеспеуі үшін қолданды. Қалған 250 арнаның біреуі провайдердің тарапынан деректерді тасымалдаумен айналысады, біреуі-қолданушыға, ал қалғандары қолданушы деректерін тасымалдауға арналды.



2.30-сурет. Дискретті мультитонды модуляцияны қолдану арқылы ADSL жұмысы

Негізі бос арналардың кез келгенін жарты-дуплекстік тасымалға қолдануға болады, бірақ кедергілердің және өзара интерференция(әсерлесу) әсерінен бұл мүмкін

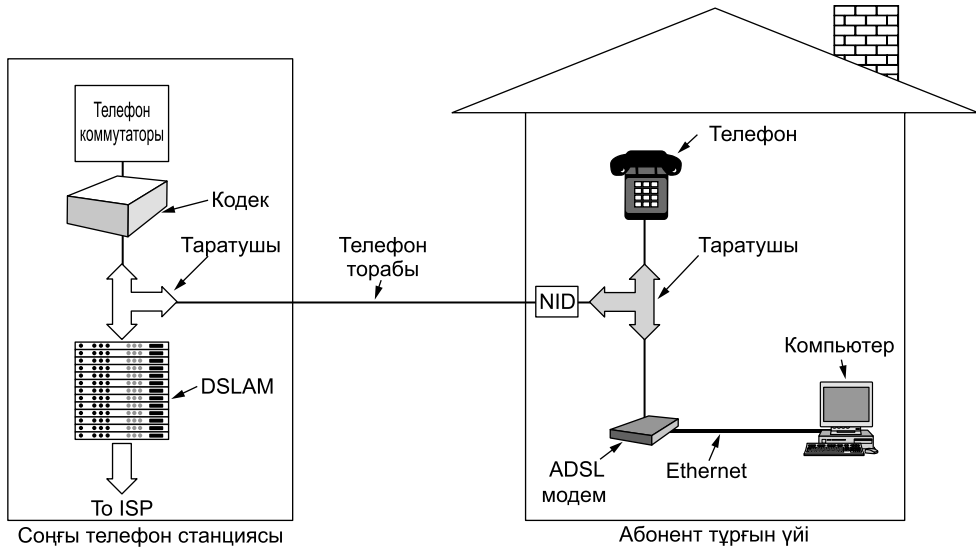
емес. Провайдер кіріс және шығыс трафиктер үшін қанша арна қолданатынын өзі анықтайды. Мұндай бөлуді 50/50 қатынасына сәйкес техникалық түрде іске асыруға болады, бірақ шындығында көптеген провайдерлер абонент тарапына тасымалға 80-90% өткізгіштік қабілетті ұсынады, өйткені көптеген қолданушылар деректерді салғаннан гөрі көбірек жүктейді. Жалпы қолданушының шығыс трафигіне 32 арна бөлінеді, ал қалған ақпараттық арналар бойынша ол деректерді қабылдай алады. Өткізгіштік қабілетті арттыру үшін соңғы бірнеше арнаны дуплексті етуге болады, бірақ бұл жаңғырықты тудыруды қоспайтын қатарға қосымша схемаларды енгізуді талап етеді.

1999 жылы **G.dmt** есебінде танылған ADSL халықаралық стандарты мақұлданды. Ол 8Мбит/с жылдамдығымен кіріс трафигін қабылдауға және 1Мбит/с жылдамдықпен шығыс трафигін жіберуге мүмкіндік берді. Оны 2002 жылы ADSL2 деп аталатын әр жақты жетілдірілген, 12Мбит/с кіріс трафикке және 1Мбит/с шығыс трафикке мүмкіндік берген екінші лек ауыстырды. Қазір бәсеңдейтін жылдамдықты (провайдерден клиентке) екі есеге, яғни 24Мбит/с-ке дейін жеткізетін және 2,2 МГц еспе жұп бойынша қолдануға мүмкіндік беретін өткізгіштік қабілетті екі есеге арттырған ADSL2+ қолданылууда.

Бірақ мұнда берілген сандар телефон станциясының соңғы нүктесіне жақын жердегі (шамамен 1-2км) жылдамдық болып табылады. Кей желілер ғана мұндай жылдамдықты қолдана алады, сондықтан кей провайдерлер ғана осы жылдамдықты ұсынады. Ережеге сәйкес, провайдерлер шамамен клиентке 1Мбит/с және клиенттен 256Кбит/с-пен (стандартты қызмет) ұсынады, тиісінше 4Мбит/с пен 1Мбит/с (жақсартылған қызмет) және 8Мбит/с пен 2Мбит/с (премиум қызмет).

Әр арнаның шегіне қарай QAM модуляциясы 4000символ/с жылдамдығын қолданады. Әр арнадағы желі сапасы әрдайым тексеріледі, *2.19-суретте* көрсетілгендей үлкен не кіші жиын қолдану арқылы тасымал жылдамдығы жөнделеді. Әр арнаның сигнал/шудың үлкен қатынысында арна бойынша жіберілетін символға 15 биттен басталатын деректерді тасымал жылдамдығы әр түрлі болуы мүмкін және стандарттың тәуелділігіне қарай аз сигнал/шу қатынасымен жіберілгенде, 2,1 немесе 0 бит/символға дейін төмендеуі мүмкін.

2.31-суретте ADSL-желісінің қарапайым құрылысы көрсетілген. Сұлбадан көргеніміздей, телефон компаниясы абоненттің ғимаратында арнайы **NID (Network Interface Device)** желімен түйіндесетін құрылғы орналастырды. Бұл кіші пластмасс қорап телефон компаниясының иелігінің бітетін жері мен абоненттің жеке иелігін белгілейді. Бұл құрылғыдан әрірек деректер арнасынан POTS-ты(0-4000 Гц) бөлетін аналогтік фильтр ретінде қызмет атқаратын **тармақтаушы** орналасқан. POTS бойынша өтетін сигналдар қолданыстағы телефон не факс арқылы тасымалданады, ал қалғандары OFDM орындау үшін цифрлық сигнал процессорын қолданатын ADSL модемі бойынша жіберіледі. ADSL модемінің көпшілігі сыртқы болғандықтан, модемнің компьютер блогымен жоғары жылдамдықты байланыс орнатуы талап етеді. Жалпы бұл Ethernet желілік картасы, USB-кабель немесе 802.11 арқылы іске асады.



2.31-сурет. ADSL құрылғысының типті сырт пішіні

Қарсы жақтағы кабельдің соңына, коммутациялық станцияның соңғы нүктесіне де тармақтаушы орнатылған. Мұнда сигналдың дауыстық құрамы ақпараттықтан бөлектеніп, қарапайым телефон коммутаторына жіберіледі. 26 кГц-тен асатын жиілік бойынша тасымалданатын сигнал ADSL модемінің орнына абоненттің типіндегідей сигнал процессоры құрамында болатын **DSL-ға мультиплексорлы қол жеткізу** құралына, **DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer)** жіберіледі. Биттік тізбекті цифрлық сигнал бойынша қайта қалпына келтіру барысында провайдерге жіберілетін дестелер құралады.

Дауыстық байланыс пен деректерді тасымалдау жүйесін толығымен айыру телефон компанияларына ADSL-ді артық мәселесіз енгізуге мүмкіндік берер еді. Тек DSLAM-ға, тармақтаушыға ие болу және осы тармақтаушыға ADSL абоненттерін қосу керек. Жоғары өткізгіштік қабілеті бар басқа жүйелер (мысалы, ISDN) оларды енгізу үшін көп істің атқарылуын және қолданыстағы коммутаторлық құрылғылармен сәйкестендіруді қажет етеді.

2.31-суретте ұсынылған жүйенің бір кемшілігі қолданушының үйінде NID-тің және тармақтаушының болуы. Мұны тек телефон компаниясының арнайы маманы ғана орната алады, бұл жүру шығынының үлкендігін көрсетеді. Осы себептен тармақтаушысы жоқ бейресми **G.lite** деп аталатын жиынтықтаудың басқа варианты стандартталған. Шындығында бұл 2.31-суретте көрсетілген схема, тек тармақтаушысыз. Қолымызда бар телефон желісі мүмкіндігінше қолданылуда. Қолданушының әрекеті – әр телефон аппаратының ажыратушысына соңында сұлбада телефон мен ADSL модемінің арасында орналасатын арнайы микрофильтр орналастыру. Телефондық микрофильтр 3400 Гц жиіліктен

асатын сигналдарды қияды. ADSL үшін фильтр керісінше 0-26 кГц диапазоны аралығындағыларды қиып, тек жоғары жиілікті өткізеді. Тармақтаушысы бар жүйе сенімді болғандықтан, G.lite-дың максималды жұмыс жылдамдығы тек 1,5Мбит/с (8Мбит/с тармақтаушысы бар жүйелерге қарсы). ADSL жайлы толық мәліметті Starr-дан біліңіз (2003).

Үйге дейін талшық

Тармақталған жезді жергілікті желілер ADSL-дің және телефондық модемдердің өнімділігін шектейді. Оларға жылдам әрі сапалы желілік қызмет ұсыну үшін телефон компаниялар мүмкіндігінше жергілікті желілерді жаңартып, ғимарат және офистеріне дейінгі жолдарға оптоалшық орнатады. Нәтижені **FTTH (Fiber To The Home-Үйге талшық)** деп атайды. FTTH технологиясы аз уақыт ішінде қол жетімді болғанына қарамастан, фильм жүктегісі келіп, DSL арнаға үйреніп қалған қолданушылардың жоғары жылдамдықты Интернетке сұранысы арта бастаған 2005 жылынан тармақтау басталды. Шамамен америкалық 4% ғимарат 100Мбит/с жылдамдығымен Интернет қол жетімді FTTH-мен байланысқан.

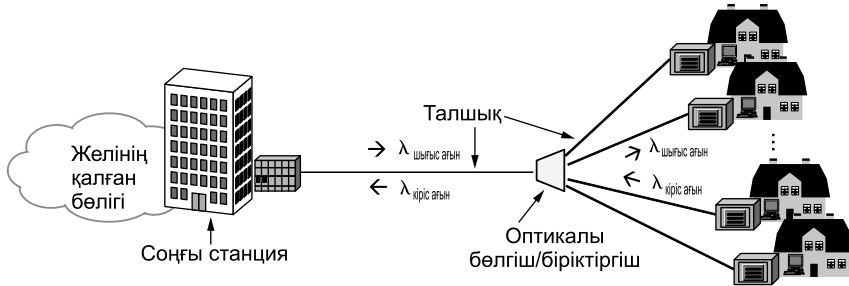
«FTTX»-тің бірнеше түрі кездеседі (мұнда X-жертөле, көмкерме немесе төңірек). Бұлар талшық үйге жақындатады дегенді белгілеуге қолданылады. Бұл жағдайда жез (еспе жұп немесе коаксиалды кабель) соңғы қысқа бөлікте жеткілікті жылдам жылдамдықпен қамтамасыз етеді. Талшықты қаншалықты алыс орналастыру-үнемдеуіңізге қарай, құны мен күтілетін кірісті баланста ұстау қажет. Жағдай қалай болса да, оптоалшық соңғы мильдің дәстүрлі кедергісін қиып өтті. Біз талқылауымызда FTTH-қа баса мән береміз.

Осыған дейінгі жез сымдар секілді жергілікті желінің талшықты кабельдері енжар. Бұл сигналдарды өңдеуге немесе күшейтуге арнайы электрмен қамтамасыз ететін құрылғыға қажеттілік жоқ деген сөз. Талшық сигналдарды тек үй мен станцияның соңғы нүктесі арасында тасиды. Шығыс бағытта оптикалық бөлушілер станцияның соңғы нүктесінен сигналды барлық ғимаратқа жететіндей етіп бөледі. Шифрлеу тек бір үй сигналды қайта шифрлау жағдайында қауіпсіздікпен қамтамасыз ету үшін қажет. Кіріс бағытта оптикалық біріктірушілер ғимараттағы сигналдарды станцияның соңғы нүктесі қабылдайтын бір сигналға біріктіреді.

Бұл архитектураны **PON (Passive Optical Network-пассив оптикалық желі)** деп атайды және ол 2.32-суретте көрсетілген. Жалпы барлық ғимараттар бірігіп бір толқын ұзындығы шығыс тасымалға, басқасы кіріс тасымалға қолданады.

Бөлгеннің өзінде үлкен өткізгіштік қабілеті мен төмен әлсіреген талшық PON-ның 20 км-ге дейінгі қашықтықта қолданушыға жоғары жылдамдық ұсына алады. Деректерді тасымалдау фактілі жылдамдығы және басқа егжей-тегжейлер пассив желінің типіне тәуелді. Оның түрі кең тараған. **GPON (Гигабиттік PON)** желілері телекоммуникация әлемінен келген, сондықтан ITU стандарты бойынша анықталған. **EPON (Ethernet PON)** желісі желі әлеміне көбірек сәйкес келеді, сондықтан олар IEEE стандартымен анықталған. Екеуінің де жылдамдығы шамамен гигабит және Интернет, дыбыс, видео сияқты әр түрлі қызметтердің трафигін

жібере алады. Мысалы, GPON 3,4 Гбит/с шығыс және 1,2 немесе 2,4 Гбит/с кіріс ағынды ұсынады.



2.32-сурет. Үйге дейін талшық үшін пассив оптикалық желі

Жалғыз станцияның соңғы нүктесінің талшығын бірнеше ғимарат бірігіп қолдануы үшін хаттама қажет. Шығыс бағытта бұл оңай. Станцияның соңғы нүктесі әр үйге қалаған реттілігі бойынша хабарлама жібере алады. Кері бағытта әр түрлі ғимараттан бір уақытта хабарлама жібере алмайсыз, әйтпесе сигналдар өзара соқтығысуы мүмкін. Ғимараттар өзара тасымалды ести алмайды, осылайша олар тасымалдан бұрын бір-бірін ести алмайды. Шешім станцияның соңғы нүктесіндегі құрылғыны қашан қолдануға болатынын анықтайтын ғимаратта құрылғының болуы. Станцияның соңғы нүктесі қабылдаған сигналдардың барлығы синхрондалатындай уақытты бекіту арқылы саралау процесі қолданылғаннан кейін осы жүйе жұмыс істеді. Бұл әдіс осы тарауда кейінірек қарастыратын кабельдік модемдерге ұқсас. Енжар оптоталшықты желілердің болашағы жайлы толық мәліметті (Grobe және Elbers, 2008) еңбегінен қараңыз.

2.6.4.Магистральдер және мультиплекстеу

Телефон желісіндегі магистральдер жергілікті желілерге қарағанда жылдамырақ болуымен қатар екі басқа жағдаймен ерекшеленеді. Телефон желісінің ядросы аналогтік емес цифрлық ақпаратты, яғни дыбыс емес битті тасиды. Бұл станцияның соңғы нүктесіндегіні үлкен қашықтықта тасымалдау үшін цифрлық формаға қайта құруды талап етеді. Магистральдар бір уақытта мың емес, миллиондаған қоңыраулар тасиды. Бұл бірігіп қолдану өнімділіктің артуын үнемдеу үшін маңызды, өйткені жоғары және төмен өткізгіштік қабілеті бар (екі коммутатор арасындағы) магистральды орнату мен қамтамасыз етуге кететін шығын шамамен бірдей. Бұл жиілік және уақыт бойынша мультиплекслерлеу арқылы іске асады.

Төменде біз дауыстық сигналдың телефон желісі арқылы тасымалдана алуы үшін қалай цифрлануы керектігін қысқаша зерттейміз. Сосын талшықты опти-

ка үшін (SONET) қолданылып, TDM жүйесін қосу арқылы магистральға битті тасымалдайтын уақытша мультиплекстеудің қолданылуын көреміз. Кейінірек толқынның ұзындығын бөлу арқылы мультиплекстейтін, талшықты оптикада қолданылатын FDM-ді қарастырамыз.

Дауыстық сигналдарды цифрлау

Телефон желісінің ерте даму кезеңдерінде ядро дауыстық қоңырауларды аналогтік ақпарат есебінде өңдейтін. 4000 Гц арнадағы (3100 Гц қосымша қорғаныс алаңына) дауысты үлкен блоктарға мультиплекстеуде FDM әдістері көп жыл қатарынан қолданылды. Мысалы, 60-108 кГц аралығындағы 12 қоңырау топ, ал бес топ (барлығы 60 қоңырау) супертоп деген атпен белгілі болды. FDM-нің кей әдістері әлі күнге дейін жезсымдар мен микротолқынды арналарда қолданылады. Бірақ FDM аналогтік схеманы қажет етеді және компьютер арқылы жасалуға көнбейді. TDM, керісінше, толығымен цифрлық электроникамен өңделеді, осылайша осы тығыздау түрі соңғы жылдары кең қолданысқа ие болып келеді. TDM тек цифрлық деректер үшін қолданылады, ал жергілікті желі аналогтік сигналдар өндіретіндіктен, шығыс магистральға бірігу үшін барлық жеке жергілікті желілер келетін станцияның соңғы нүктесінде аналогтіктен цифрлық сигналға айналдыру керек.

Аналогтік сигналдар **кодек** («кодер-декодердің» қысқармасы) деп аталатын станцияның соңғы нүктесіндегі құрылғы арқылы цифрланады. Кодер-декодер секундына 8000 санау жасайды (125 мкс/санау), бұл Найквист теоремасына сәйкес, телефондық арнадан 4 кГц өткізгіш алаңымен барлық ақпаратты алу үшін жеткілікті. Таңдауды орындау үшін бұдан төмен жылдамдықты қолдансақ, ақпарат жоғалады, ал бұдан жоғары жылдамдықта ешқандай қосымша ақпарат алынбас еді. Әр сигнал амплитудасының санауы 8-биттік санға квантталады.

Бұл әдіс **PCM (Pulse Code Modulation, импульсті-кодтық модуляция)** деп аталады. Бұл – заманауи телефондық желінің ең маңызды бөлігі. Осының әсерінен телефон желісінің шегіндегі барлық уақыт аралығы 125 мкс-ке бөлінеді. Осылайша телефондық қоңырау үшін деректерді тасымалдың стандартты тығыздалмаған жылдамдығы әр 125 мкс үшін 8 бит немесе 64 Кбит/с.

Қоңыраудың келесі соңында аналогтік сигнал квантталған үлгіден уақыт арқылы ұтылып тегістеу арқылы қайта қалпына келтіріледі. Нәтижесінде Найквист жылдамдығымен әрекет еткендігімізге қарамастан, аналогтік сигналдың түпнұсқасындай болмайды, өйткені үлгілер квантталды. Кванттаудан кеткен қателікті азайту үшін кванттау деңгейлері тең емес аралықпен орналасу керек. Аз сигнал амплитудасына шамамен көп бит және көп сигнал амплитудасына аз бит беретін логарифмдік меже қолданылады. Осылайша, қателік сигнал амплитудасына пропорционал.

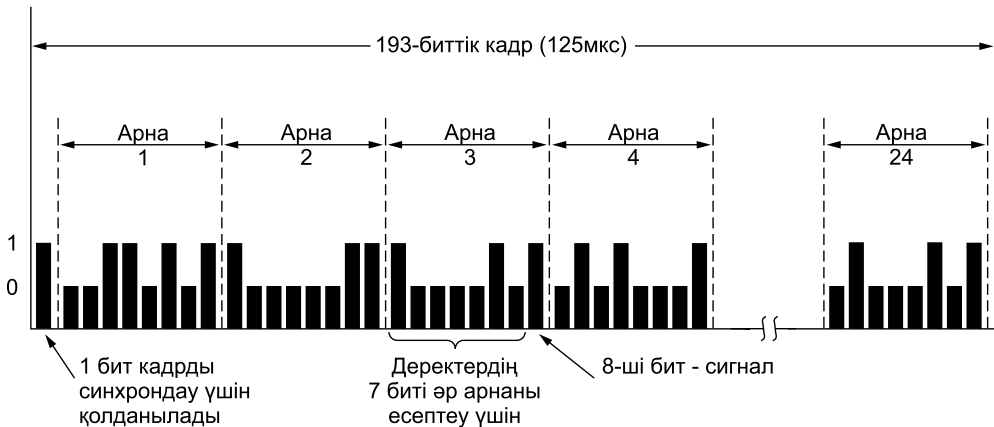
Кванттаудың екі нұсқасы кеңінен қолданылады: Солтүстік Америка мен Жапонияда қолданылатын **μ-заңы (μ-law)** мен Еуропа мен әлемнің басқа бөлігінде қолданылатын **A-заңы (A-law)**. Екі нұсқа да ITU G.711 стандартында анықталған.

Сигнал (бірқалыпты) квантталмастан бұрын сигнал диапазонының динамикалық (немесе ең үлкен және ең кіші мәндердің қатынасы) тығыздалуын, сосын аналогтік сигнал қайта жасалғанда, кеңеюін елестетіңіз. Осы себептен аталған әдісті **компадинг (companding)** деп атайды. Санауды 64Кбит/с-тан аз уақыт талап етуі үшін цифрлағаннан кейін тығыздауға болады. Біз бұл мәселені IP-телефония сияқты аудиоқосымшаларды зерттегенге дейін қалдыра тұрамыз.

Уақытты бөлу арқылы мультиплекстеу

Импульсті-кодты модуляцияға негізделген уақытты бөлу арқылы мультиплекстеу әр 125 мкс сайын қоңырауға таңдау жіберу арқылы магистрал бойынша бірнеше дауыстық қоңырауды тасымалдауда қолданылады. Цифрлық тасымал шындыққа айналғанда, ITU(ССИТТ) импульсті-кодты модуляцияның халықаралық стандартының келісіміне қол жеткізе алмады. Нәтижесінде әр елде өзара сәйкестелмейтін схемалар қолданылады.

Солтүстік Америка мен Жапонияда қолданылатын әдіс T1 арнасы деп аталады және кадр форматы 2.33-суретте бейнеленген (Техникалық атауы DS1, ал арна атауы T1, біз аз ерекшелікке қарамай, дәстүрлі өндірісте кеңінен қолданылатын атауын қолданамыз). T1 желісі бірге мультиплекстенген 24 дауыстық арнадан тұрады. 24арнаның әрбірі тиісінше 8 бит шығыс ағынын қояды.



2.33-сурет. T1(1544Мбит/с) арнасы

Кадр $24 \times 8 = 192$ биттен және қосымша басқару мақсатындағы бір биттен, барлығы 125 мкс сайын 193 биттен тұрады. Нәтижесінде бұл 1544 Мбит/с жылдамдықпен үлкен сомалы деректерді тасымалдауға мүмкіндік береді. 193-бит басқа нұсқада 24 кадрлы топтан кейін қолданылады және **кеңейтілген суперфрейм** деп аталады. 4, 8, 12, 16, 20, 24-реттілікте орналасқан алты бит 001011 үлгісінен алынған. Жалпы қабылдаушы бұл үлгіні синхрондығын жоғалтпандығын нақтылау үшін әрдайым тексеріп тұрады. Егер синхрондығы бұзылса, қабылдаушы қабылданған деректі

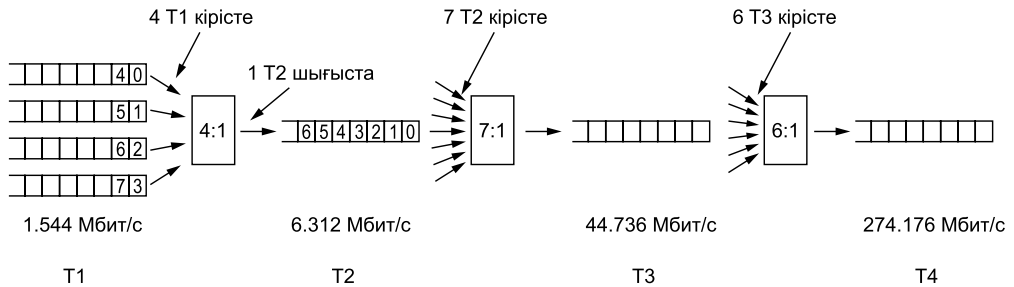
тексеріп, кадрлық битті іздейді және кадрлық бит көмегімен синхрондықты қайта қалпына келтіреді. Тағы 6 бит қабылдаушының синхрондалғанын растауына көмектесу мақсатында қателікті тексеру кодын жіберу үшін қолданылады. Егер ол синхрондықты жоғалтар болса, қайта синхрондалу үшін қабылдаушы үлгіге қарап, қателік тексеру кодын растай алады. Қалған 12 бит өшірілген соңғы нүктеден келген хабарламаны орындау сияқты желіні басқару және жұмысын демеу үшін қолданылады.

T1 форматының бірнеше түрі бар. Ертеректегі нұсқасы алаңдағы ақпараттық сигналды жіберетін, яғни деректер арнасының өзінде кей дерек биттері қолданылады. Бұл схема – сигнализация формасының арнамен қауымдастырылған түрі, сондықтан әр арнаның өзіндік арна асты бар. Әдістің бірінде 8-биттік үлгідегі кіші мәнді бит әр арнаның алтыншы кадрында қолданылады. Бұл нұсқаны **битті ұрлаушы сигнализация** деп атайды. Негізі мәні мынада: бірнеше ұрланған бит дауыстық қоңырау үшін маңызды деп саналмайды. Ешкім айырмашылықты естімейді.

Деректер үшін жағдай басқаша. Бұрыс биттерді жіберу пайдасыз. T1-дің өте ескі нұсқалары қолданылатын болса, 8 биттің тек 7-і немесе 56Кбит/с 24арнаның әрқайсысында қолданыла алады. Мұның орнына T1-дің жаңа нұсқалары барлық битпен деректерді жіберуге болатын таза арналармен қамтамасыз етеді. Таза арналар T1 желісін жалға алатын фирмалардың деректерді дауыстық санау емес, телефон желісі арқылы жіберердегі қалауы. Кез келген дауыстық қоңыраулар үшін сигнализация алаңнан тыс өңделеді, яғни деректер арнасынан бөлек жерде. Көбінесе сигнализация бірге қолданылатын сигналдық арнасы бар **жалпы дабылдау арнасымен** жасалынады. 24 арнаның бірін осы мақсатта қолдануға болады.

Солтүстік Америка мен Жапониядан тыс жерлерде T1-дің орнына 2048Мбит/с-ті E1 арнасы қолданылады. Бұл арнаның негізгі 125 мкс кадрға оралған 328-биттік дерек үлгісі бар. Арнаның отызы ақпарат үшін қолданылса, екеуі дабыл үшін қолданылады. Төрт кадрдан құралған әр топ жартысы дабыл қағуға (немесе арнамен байланысуға, немесе жалпы арнаға) және қалған жартысы кадрды синхрондау немесе қалауынша қолдану мақсатында әр бет үшін резервтелінген 64 сигналдық битті қамтамасыз етеді.

Уақытты бөлу арқылы мультиплекстеу T1-дің бірнеше арнасына жоғары реттіліктің арналарына мультиплекстенуіне мүмкіндік береді. *2.34-суретте* мұның қалай жасалатындығы көрсетілген. Сол жақтан T1-дің T2-ге біріккен төрт арнасын көреміз. T2 және жоғары реттіліктегі арналарда мультиплекстеу байт бойынша емес, бит бойынша жүзеге асырылады, сонымен қатар 24 дауыстық арна T1-дің бір кадрын құрайды. 1544 Мбит/с-ті T1-дің төрт ағыны 6178 Мбит/с-ті құрайды, бірақ шындығында T2 арнасында 6312Мбит/с-ке тең тасымал жылдамдығы қолданылады. Қосымша биттер кадрларды синхрондауда және арна істен шыққанда қайта қалпына келтіруге қолданылады. T2, T4-ті тек телефон желісінің ішінен табуға болатындықтан, олар қатты танымал емес, ал T1, T3 қарапайым қолданушылар тарапынан кеңінен қолданылады.



2.34-сурет. T1 ағындарын жоғары реттілікті арналарда мультиплекстеу

Келесі деңгейде T2-нің жеті арнасы бит бойынша T3-ке бірігеді. Сосын T3-тің алты ағыны T4 ағынын тудырады. Әр кезеңде кадрды синхрондау үшін шамалы көлемде артықтық ақпарат қосылады.

АҚШ және әлемнің басқа елдері арасында негізгі арна және олардың қалайша жоғарырақ деңгейдің арналарына мультиплекстеу жайлы келісім жоқтың қасы. Американдық 4,7 және 6 бойынша бірігу схемасы басқаларына қарамайды, мысалы ITU стандарттары әр деңгейде бір ағынға төрт ағынды мультиплекстеуді болжайды. Одан басқа АҚШ-тың құрылымдау және қайта қалпына келтіруі ITU стандарттарынан өзгеше. ITU бағынышты сатысы тиісінше 2048,5548,34304,139264 және 565148 Мбит/с жылдамдықпен жұмыс істейтін 32,128,512,2048 және 8192 арна бойынша біріктіреді.

SONET/SDH

Оптоалшықты байланыс енді пайда болғанда, әр телефон компаниясының өзіндік уақытты бөлу арқылы мультиплекстеу жүйесі болатын. AT&T компаниясын 1984 жылы бөлінгеннен кейін жергілікті телефон компанияларына халықаралық әр түрлі TDM оптикалық жүйелеріне қосылуға тура келді. Анық стандарттауға қажеттілік туды. 1985 жылы Bellcore жергілікті телефон компаниясы бөлімінің зерттеушілері **SONET-ті (Synchronous Optical Network-синхронды оптикалық желі)** жасауды бастады.

Кейінірек бұл іске ITU қосылды, нәтижесінде 1989 жылы SONET стандарты және ITU-дің параллельді ұсыныс топтамасы (G.707, G.708, G.709) жасалды. **SDH (Synchronous Digital Hierarchy-синхронды цифрлық иерархия)** атауын алған ITU ұсынысы SONET стандартынан сәл өзгеше. Бүгіндері АҚШ-тың алыс қашықтықтағы және әлемнің басқа елдеріндегі телефондық желілердің барлығы дерлік SONET-ті физикалық деңгейде қолданып келеді. Қосымша ақпарат алу үшін (Bellamy, 2000; Goralsky, 2000; Shepard, 2001) кітабын қараңыз.

SONET-ті жасау барысында төрт негізгі мақсат қойылған. Біріншіден, SONET әр түрлі тасымалдаушыда құрастырылған желілерді біріктіруді қамтамасыз ету керек еді. Бұл мақсатқа жету үшін толқынның ұзындығын, синхрондауды, кадр

құрылысын және басқа да мәселелерді суреттейтін ортақ стандарт анықтау қажет болды.

Екіншіден, импульсті-кодты модуляциямен 64Кбит/с арналарында құрылған, бірақ бұл арналарды түрлі әдістермен қолданатын (бір-бірімен сәйкес келмейтін) АҚШ-тағы, Еуропадағы және Жапониядағы цифрлық жүйелерді біріктіретін құрал қажет болды.

Үшіншіден, SONET бірнеше цифрлық арналарды біріктіру әдісін ұсыну керек болды. SONET жүйесін жасау кезінде АҚШ-та 44736Мбит/с жылдамдықты Т3 арнасы кеңінен қолданылатын. Т4 стандарты аз қолданылатын, ал Т4-тен жоғары стандарттар мүлдем анықталмаған. SONET-ке жүктелген бір тапсырма секундына гигабит жылдамдықтағы бағынышты сатыны жалғастыру болды. Сонымен қатар, бірнеше баяу арнаны бір SONET арнасына біріктіретін стандартты әдіс қажет болды.

Төртіншіден, SONET операцияларды, әкімшілікті және қызмет көрсетуді (OAM, Operation, Administration, Maintenance) демеу ісімен қамтамасыз ету керек еді. Алдыңғы жүйелер бұл тапсырманы нашарлау орындады.

Алғашында SONET-ті дәстүрлі уақытты бойынша бөлу арқылы мультиплекстеу жүйесінде жасау ойластырылды, сонымен қатар оптоалшықты кабельдің барлық өткізгіштік қабілеті арна астынан шығатын уақыт аралығына бөліну арқылы бір арна бойынша бөлінді. SONET – синхронды жүйе. Жіберілетін бит арасындағы аралықтар 10^{-9} таймер нақтылығымен басқарылады. Биттер негізгі таймердің бақылауындағы желіге қатаң анықталған уақыт аралығында жіберіледі.

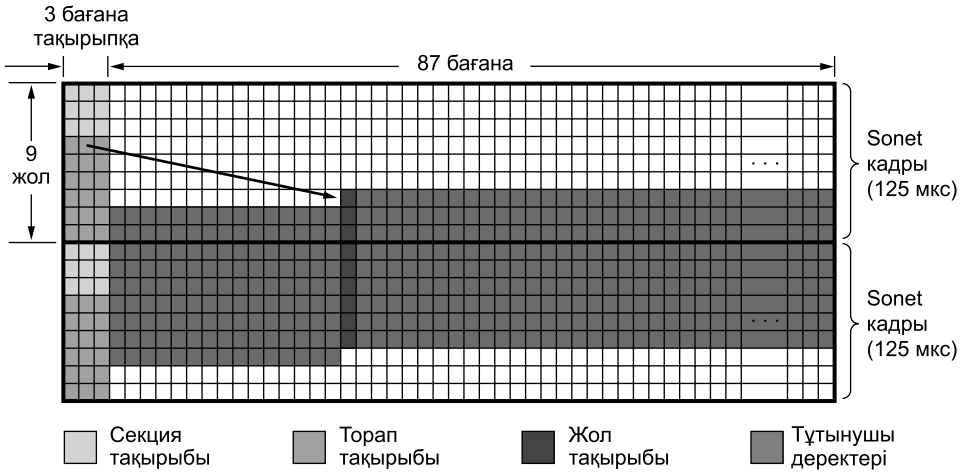
SONET-тің қарапайым кадры әр 125 мкс сайын берілетін 810 байттан тұратын блок. SONET синхронды жүйе болғандықтан, кадрлар жіберілуге тиіс пайдалы ақпараттардан тәуелсіз беріледі. 8000 кадрдың секундтағы жылдамдығы телефонияда қолданылатын PCM арнасының дискреттеу жылдамдығына нақты сәйкес келеді.

810 байттан тұратын SONET кадрын 9 қатар 90 бағанадан құралған тіктөртбұрыш түрінде суреттеу жеңілдірек. Онда $8 \times 810 = 6480$ биттің секундына 8000 рет тасымалданатыны анық, тасымал жылдамдығы 51,84Мбит/с. Бұл **STS-1 (Synchronous Transport Signal** – синхронда тасымал сигналы) деп аталатын SONET-тің негізгі арнасы. SONET-тің барлық магистралі STS-1-ге бөлінеді.

Әр кадрдың алғашқы үш бағанасы *2.35-суретте* көрсетілгендей жүйелік басқару апараты үшін резервтелген. Алғашқы үш қатар бөлімнің тақырыбынан тұрады, келесі алты қатар желінің тақырыбы. Секцияның тақырыбы құрылады және әр бөліктің басы мен соңында тексеріледі, ал желінің тақырыбы әр желінің басы мен соңында тексеріліп, құрылады.

SONET жіберушісі тасымалға дерек жоқ болса да (бұл жағдайда жалған байттар тасымалданады), көрші кадрларды кадр арасы аралыққа қарамастан 810 байтпен жібереді. Қабылдаушының көзқарасынша бұл шексіз биттік ағын сияқты көрінеді. Ол қалайша әр кадрдың шегін біледі? Негізгі кадрдың алғашқы екі байты қабылдаушы іздеп табуға тырысатын белгіленген тізбектен құралған. Егер үлкен көлемде қабылданған кадр тізбегінде нөл мен бірдің бірдей комбинациясы табыл-

са, мұны кадрдың шегі деп болжау ақылға сияды және қабылдаушы жіберушімен өзін синхрондалған деп есептейді. Теорияға сәйкес қолданушы ағынға қызметтік тізбекті жиі қоса алады, бірақ бірнеше қолданушы тарапынан жіберілетін деректер басқа себептер тығыздалатындықтан, тәжірибеде бұл нәрсе қабылдаушыны шатастыруы мүмкін.



2.35-сурет. SONET жүйесінің көрші екі кадры

Қалған 87 бағана қолданушының деректерінен тұруы мүмкін. Олар $87 \times 9 \times 8 \times 8000 = 50112 \text{ Мбит/с}$ жылдамдығымен тасымалданады. Бұл деректер T1 және басқа арналар бүтінімен алатын дауыстық санау және дестелер болуы мүмкін. SONET – бұл биттерді тасымалдау үшін қолайлы контейнер. Негізі, **синхронды пайдалы десте, SPE (Synchronous Payload Envelope)** деп аталатын қолданушының деректері әрдайым бірінші қатар және төртінші бағанадан басталмайды. SPE кадр шегіне сәйкес кез келген жерден басталуы мүмкін. Ал оның бірінші байтына сілтеме желі тақырыбының бірінші қатарында сақталады. SPE-нің бірінші бағанасы жолдың тақырыбы болып табылады (яғни, деңгей асты алмаспайтын хаттамалардың тақырыбы).

2.35-суретте көрсетілгендей, SONET кадрының кез келген жерінде SPE бастай алу және көрші екі кадрдың орнын алу мүмкіндігі жүйеге қосымша икемділік береді. Мысалы, егер қолданушының деректері дереккөзге келгенде, бос SONET кадры жіберілгенде, олар келесі кадрдың басын күтпей, ағымдағы кадрға қойылады.

SONET/SDH мультиплексрлеудің иерархиялық жүйесі 2.5-кестеде көрсетілген. T3 арнасынан 40 Гбит/с-ке дейінгі аралықтағы STS-1-ден STS-768-ге дейінгі синхронды сигнал тасымалдау жылдамдығы анықталған. OC-3072 арнасынан 160 Гбит/с-ке дейінгі шектер технология жағынан мүмкін болғанда, жоғары жылдамдықтар уақыт өте анықталады. *n*-дік синхронды транспорттық сигналға сәйкес келетін оптикалық арна (OC, Optical Carrier) OC-*n* деп аталады және STS-*n*-

мен битке дейін синхрондау үшін кей биттерді орналастыру ерекшелігімен сәйкес келеді. ITU ұсынысына сәйкес жүйелер 51,84 Мбит/с стандартты жылдамдыққа ие болмағандықтан, SDH атауы OC-3-тен басталу арқылы ерекшеленеді. Біз OC-3-тен басталып, 4-ке бөлінетін жалпы жылдамдықты көрсеттік. Жалпы деректер ағыны жылдамдығына барлық басқарушы сигналдар қосылған. SPE-нің пайдалы жүктеу жіберу жылдамдығына желі мен бөліктің тақырыбы кірмейді. Қолданушының деректерді жіберу жылдамдығына тек кадрдың 87 пайдалы бағанасы қосылады.

Егер OC-3 сияқты дерек арнасының біреуі мультиплексті болмаса, тек дереккөзден деректі тасыса, онда оның атауына concatenated (біріккен) деген мағына беретін «с» латын әрпі қосылады. Осылайша OC-3 бөлек үш OC-1 арнасынан құралатын 155,52 Мбиттік арна, ал OC-3с бір дереккөзден 155,52 Мбит/с жылдамдықпен дерек ағынын тасымалдауды білдіреді. OC-3с құрамындағы OC-1-дің үш ағыны бір бағанамен бөлінеді. 1 бағана 1 ағынды айырады, сосын 1 бағана – 2 ағынды, 1 бағана – 3 ағынды, сосын 2 бағана – 1 ағынды және осылайша ені бойынша 270 бағана, ал қатар бойынша 9 тереңдікті кадрға дейін жалғаса береді.

2.5-кесте

SONET және SDH мультиплекстеу жылдамдығы

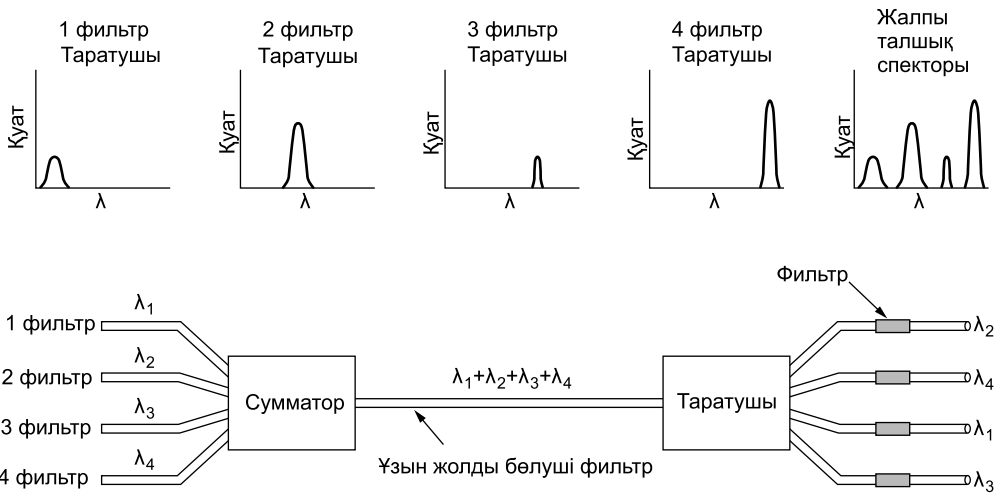
SONET		SDH	Деректерді жіберу жылдамдығы, Мбит/с		
Электрлік	Оптикалық	Оптикалық	Жалпы	SPE	Қолданушынікі
STS-1	OC-1		51,84	50,112	49,536
STS-3	OC-3	STM-1	155,52	150,336	148,608
STS-9	OC-9	STM-3	466,56	451,008	445,824
STS-12	OC-12	STM-4	622,08	601,344	594,432
STS-48	OC-48	STM-16	2488,32	2405,376	2377,728
STS-192	OC-192	STM-64	9953,28	9621,504	9510,912
STS-768	OC-768	STM-256	39813,12	38486,06	38043,648

Спектрлік тығыздау

Опталшықты арналарда жиілік бойынша тығыздаудың ерекше нұсқасы қолданылады. Ол **спектрлік тығыздау (WDM, Wavelength - Division Multiplexing)** деп аталады. Опталшықты желілердегі жиілік бойынша тығыздауды құру әдісі *2.36-суретте* көрсетілген. Мұнда төрт кабель бір сумматорға келеді және әрқайсысынан өзіндік жиілік диапазоны бойынша энергиясымен сигнал жүреді. Төрт сәуле бірігіп, бір талшық бойынша тарайды. Қарама-қарсы жақта олар тармақтаушымен бөлшектенеді. Әр шығыс кабелінде бірдей толқын ұзындығындағы сигналдарды өткізетін фильтрдің қызметін атқаратын ішкі қабаттың арнайы аумағы болады. Қабылданатын сигналдар бекітілген орынға

бағытталуы мүмкін немесе тасымалды одан әрі мультиплекстеудің басқа әдістерін қолдану арқылы қайта бірігеді.

Аталған әдістің еш жаңалығы жоқ. Бұл жай ғана өте үлкен жиілікті жиілік бойынша тығыздау. Бұл жұмыс әдісі жай ғана өте үлкен жиілікті жиілікпен бөлу арқылы мультиплексрлеу, WDM терминдерінде оптикалық-талшықтық арналар жиілікпен емес, толқын ұзындығы не «түсімен» сипатталады. Әр сигнал өзінің жиілік диапазонында жіберілетіндіктен және бұл диапазондар сәтті бөлінетіндіктен, мультиплексрлеудің мұндай түрі үлкен қашықтықта тасымалға қолдануға болады. Электрлік жиіліктік тығыздықтан негізгі айырмашылығы тығыздауға қолданылатын жүйе, яғни призма не дифракционды тор аса енжар болып табылады, нәтижесі – ол өте сенімді элемент.



2.36-сурет. Спектрлік тығыздау

Спектрлік тығыздаудың танымал болу себебі бір оптикалық кабель жалпы электрлік сигналдан оптикалыққа немесе керісінше айналдырудың мүмкін еместігінен бірнеше гигагерцтік жиілікте жұмыс істейді. Бірақ бір кабельде түрлі ұзындықтағы сигналдарды біріктіру арқылы арна санына сызықты тәуелді өткізгіштік қабілет жиынтығын алуға болады. Бір талшықтың өткізгіштік алаңы 25000 Гц (2.6-суретті қараңыз), тиісінше теорияға сәйкес 1бит/Гц-тің өзінде 2500 арнаны 10Гбит/с-пен (одан да жоғары жылдамдықтар мүмкін) орналастыруға болады.

WDM технологиясы аса қарқынды дамып келеді. Ол 1990 жылы табылған. Алғашқы коммерциялық жүйелер әр 8 арнаға 2,5 Гбит/с-тен қолданды. 1998 жылға қарай осындай арнаның өткізгіштік қабілеті бар нарықта 40-арналық жүйе пайда болды. 2006 жылға таман 10Гбит/с-ті 192 арнадан және 40Гбит/с-ті 64 арнадан құралған жүйелер болды. Мұндай сыйымдылық секундына 80 толықметражды DVD-фильмін жіберуге жеткілікті. Арналар да 200, 100 немесе барлығы 50ГГц-

ке бөлінген нық талшықта орналастырылған. Лабораториялық шартта жасалған компанияның зерттеуі бұл технологияның он есе артықшылығын көрсетті, бірақ лабораториядан енгізуге дейінгі жол бірнеше жылды құрайды. Арна саны аса көп болғанда және толқын ұзындығы өте аз өлшемге ерекшеленсе, жүйелерді **тығыз WDM немесе DWDM (Dense WDM)** деп атайды.

Тағы да жаңа жасау оптикалық күшейткіш болып табылады. Бұрынырақта әр 100 км сайын оптикалық арналарды электрлікке айналдырып сигналдарды бөлу және соңғысын дәстүрлі әдіс арқылы күшейту қажет болған. Қазір кез келген оптикалық күшейткіш біріккен сигналды әр 1000 км сайын оптоэлектрлік айналдырудың көмегінсіз қайта құрай алады.

2.36-суреттегі мысалда тұрақты толқын ұзындығы бар жүйе бейнеленген. 1-ші кіріс кабеліндегі деректер 3-ші шығыс кабеліне түседі, ал 2-ші кабельдікі –1-ге және т.б. Бірақ коммутаторланатын WDM жүйесін құруға болады. Мұндай құрылғыда шығыс фильтрлері Фабри-Перо немесе Маха-Цандер интерферометр көмегімен күйіне келтіріледі. Бұл құрылғы таңдалған жиіліктерге басқарушы компьютер тарапынан динамикалық өзгеріске ұшырауға мүмкіндік береді. Бұл қабілет телефон желілері арқылы өтетін толқын ұзындықтары әр түрлі көптеген жолдарды үлкен икемділікпен тасымалдауды қамтамасыз етеді. Оптикалық желі мен спектрлік тығыздау жайлы толығырақ Ramaswami-ді және басқасын оқыңыз (2009).

2.6.5. Коммутация (тізбектегі электр тогының бағытын өзгерту)

Орташа деңгейлі телефон инженерінің көзқарасына сәйкес телефон жүйесі екі бөліктен тұрады: сыртқы құрылғылар (жергілікті телефон желісі мен магистральдар, коммутаторлардан тыс) және телефоон станциясында орналасқан ішкі құрылғылар (коммутатор). Біз сыртқы құрылғыларды қарастырдық. Енді ішкіге көңіл бөлетін уақыт жетті.

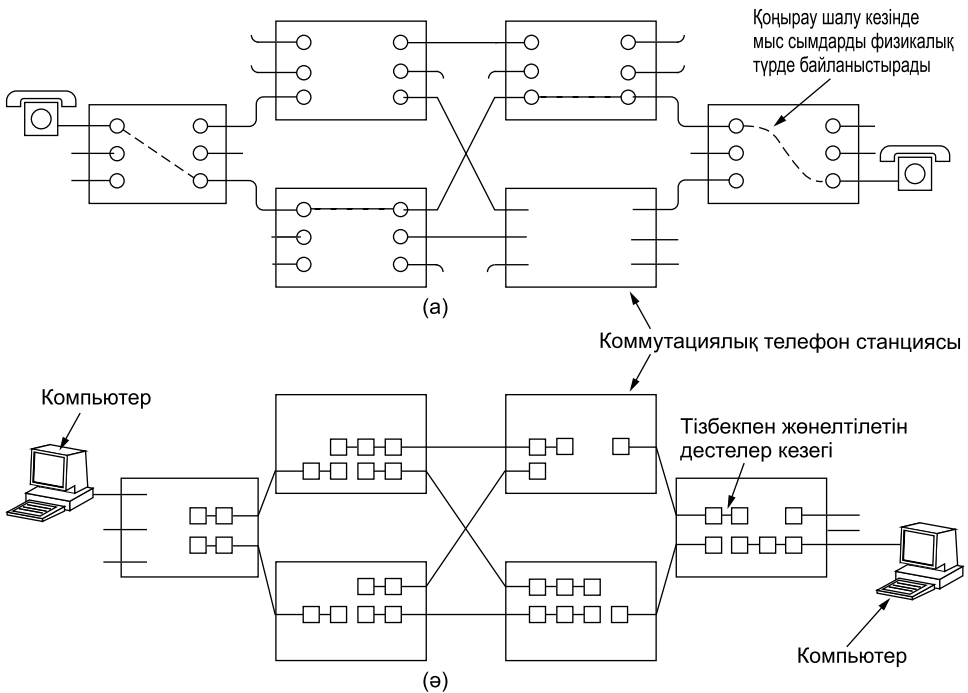
Телефон жүйелерінде қабылдаудың екі түрі қолданылады: арналарды коммутациялау және дестелерді коммутациялау. Дәстүрлі телефон жүйесі арналарды коммутациялауға негізделген, бірақ дестелерді коммутациялау IP-телефония кең қолданысқа енгеннен кейін тарала бастады. Біз бірнеше рет арналарды коммутациялауды және оның дестелерді коммутациялаудан ерекшелігін толығырақ талқылаймыз. Коммутациялаудың екі түрі де маңызды, кейінірек өтетін желілік деңгейге тағы да соғып кетеміз.

Арналарды коммутациялау

Сіз (немесе сіздің компьютеріңіз) телефон тұтқасын алып, нөмір тергенде, телефон жүйесіндегі коммутаторлық құрылғы кабельден құралған және сіздің телефоныңыздан байланысушының телефонына келетін физикалық жолды іздейді. **Арналарды коммутациялау** деп аталатын мұндай жүйенің схемасы

2.37 а-суретте көрсетілген. Әр алты тіктөртбұрыш коммутацияланған станцияны (соңғы нүктедегі немесе қала аралық) көрсетеді. Аталған мысалда әр станцияның үш шығыс және үш кіріс желісі бар. Қоңырау коммутацияланған станция арқылы өткенде, кіріс және шығыс желілердің арасында физикалық байланыс орнатылады (нүкте сызықпен көрсетілген).

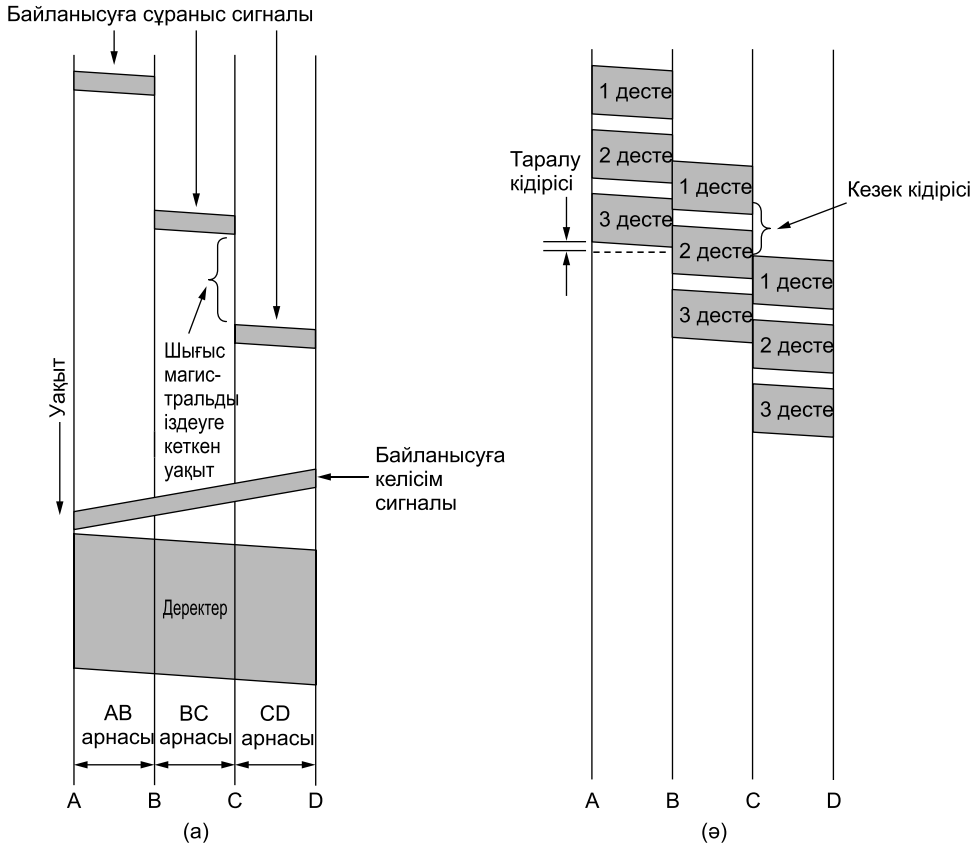
Ертеректе телефондық байланысты телефон операторлары екі желінің сымын соңындағы екі штекерлермен тұйықтау арқылы қолмен жасаған. Автоматты коммутатордың пайда болуымен аса қызықты оқиға байланысты. Автоматты коммутаторды XIX ғасырларда жерлеу бюросының иесі Алмон Б.Строуджер (Almon B.Strowger) телефон жасалынғаннан кейін ойлап тапқан. Біреу қайтыс болғанда, туысқаны қалалық телефон операторына хабарласып: «Мені жерлеу бюросымен байланыстырыңызшы» деген. Өкінішке орай, мистер Строуджердің қаласында екі жерлеу бюросы болған және бәсекелестің әйелі телефон операторы болып жұмыс істеген. Мистер Строуджер не автоматты телефон коммутатор ойлап табу керектігін, не өз ісін жабу керектігін түсінді. Ол біріншісін таңдады. 100 жылдың көлемінде **іздеуші Строуджер** (тарих телефон операторлығы қызметінен кеткен бәсекелесінің әйелі күйеуінің телефон нөмірін барлық қалаушыларға хабарлау үшін телефондық ақпарат агенттігіне жұмысқа тұрғандығы жөнінде ешнәрсе айтпайды) деп аталатын арналарды коммутациялау құралы әлемінде қолданылып келді.



2.37-сурет. Коммутация: а – арнаныкі; ә – дестенікі

2.37 *a-суретте* бейнеленген модель қатты жеңілдетілген, өйткені телефон желісіндегі екі абонентті біріктіретін арна шындығында жез сымнан басқа микротолқынды немесе мыңдаған телефон абоненттері біріктірілген оптоталшықты магистрал болуы мүмкін. Соған қарамастан, негізгі идея бұрынғыдай қала береді: абонент басқасына қоңырау шалғанда, оларды байланыстыратын анық жол орнатылады және осы жол әңгіме соңына дейін өзгеріссіз қалады.

Арнаны коммутациялаудың маңызды қасиеті деректер жіберілмес бұрын бір абоненттен екіншісіне тура жол орнату қажеттілігі. Осы себептен нөмірді терудің соңынан әңгіме басталатын уақыт шамамен 10 с және қалааралық және халықаралық қоңыраулар үшін одан да көп. Осы уақыт аралығында телефон жүйесі 2.38 *a-суретте* бейнеленген жолды іздейді. Әңгімеге сұраныс сигналы деректерді тасымалдастан бұрын бекітілген пунктке дейінгі жолды өтіп, онда білінуі керек екендігіне назар аударыңыз. Көптеген компьютерлік қосымша (мысалы, касса терминалы арқылы клиенттің кредиттік картаны тексеру барысында) үшін байланысты орнату уақытының ұзақ болуы құпталмайтын іс.



2.38-сурет. (а) Арнаны коммутациялау, (ә) дестені коммутациялау барысындағы уақыт шығыны

Нәтижесінде абоненттер арасында осы жол орнатылғаннан кейін, физикалық байланыс орнату барысында сигналды таратудың жалғыз шығыны әр 1000 км-ге шамамен 5 мс электромагниттік сигналды таратудың жылдамдығы болып табылады. Мұндай жүйенің тағы бір қасиеті әңгіме басталған соң байланыс орнатуға дейін бос болмаса да (мысалы, коммутаторда немесе магистралда тиісті мүмкіндіктің болмауынан), желі бос емес бола алмайды. Жолды орнатудың бір салдары топтану қаупінің болмауы, яғни қоңырау жіберілгеннен кейін сіз ешқашан «бос емес» сигналын алмайсыз. Әрине, сіз желінің не коммутатордың көлем жетіспеушілігіне байланысты байланыс орнатылмастан бұрын мұндай сигнал ала аласыз.

Дестелерді коммутациялау

Коммутациялаудың балама әдісі 1-ші тарауда сипатталып, *2.37 б-суретте* схемасы бейнеленген дестелерді коммутациялау болып табылады. Осындай коммутация формасын қолданғанда, бөлек дестелер дайын болуына қарай жіберіледі. Арналарды коммутациялаудан ерекшелігі **дестелерді коммутациялау** барысында екі абоненттің арасында деректерді тасымалдамас бұрын байланыс орнатуға қажеттілік жоқ. Маршрутизаторлар бекітілген жерге қозғалатын әр дестені жеке жіберетін тасымалды аралық буферлеумен қолданады. Бұл процесс арналарды коммутациялауға ұқсамайды, байланыс орнату нәтижесі – жіберушіден қабылдаушыға дейінгі жолдағы өткізгіштік қабілетті резервтеу. Арнадағы барлық деректер осы жолмен жүреді. Аталған жолмен жүрудің басқа да нәтижесі арасында қажетті реттілік бойынша деректердің қабылдануын кепілдендіру бар. Дестені коммутациялау барысында өзгермейтін жол жоқ, сондықтан олардың жіберілу кезіндегі желілік шарттарға сәйкес түрлі дестелер түрлі жолдарға ілесе алады және рет бойынша келмеуі мүмкін.

Дестені коммутациялайтын желілер десте көлемінің төменгі, жоғарғы шегін орнатады. Бұл еш қолданушының ұзақ уақытқа (мысалы, көп миллисекунд) тасымал желісін монополиясына алуға мүмкіндік бермейді, сондықтан дестені коммутациялайтын желілер интерактивті трафикті өңдей алады. Ұзын хабарламалы бірінші десте екіншісі толығымен жеткенше қайта жіберіле алатындықтан, бұл кешігуді де азайтады. Бірақ маршрутизатор жадындағы аралық дестені буферлеуді келесі маршрутизаторға жіберілместен бұрынғы кешеуілі арнаны коммутациялаудағы кешеуілден асып түседі. Арналарды коммутациялау барысында биттер сым бойымен үздіксіз ағады.

Дестелерді және арналарды коммутациялаудың басқа да өзгешеліктері бар. Дестені коммутациялау кезінде еш өткізгіштік қабілет резервтелінбегендіктен, дестелерге жіберілуді күту қажет секілді. Бұл егер көптеген десте бір уақытта жіберілсе, **кезектегі кешеуілге** және жиналуға әкеп соқтырады. Бір жағынан, сигналды «бос емес»етіп көру және желіні қолдану мүмкіндігі болмау аса қорқынышты емес. Осылайша, жинақталу арна (орнату барысында) мен дестені (дестелер жіберілгенде) коммутациялау үшін әр уақытта орын алады.

Егер арна бөлек қолданушы үшін резервтелсе және ешқандай трафик бол-

маса, оның өткізгіштік қабілеті босқа жұмсалған болады. Ол басқа трафик үшін қолданылмайды. Дестелік коммутациялау өткізгіштік қабілетті босқа жұмсамайды және осылайша жүйе көзқарасына сәйкес әсерлірек саналады. Дестелік және арналық коммутацияның айырмашылығын түсіну үшін таңдауды түсіну маңызды. Таңдау кепілдендірілген қызмет және ресурстарды жұмсау мен кепілдендірілмеген қызмет және ресурстарды жұмсау арасында жүреді.

Дестені коммутациялау жүйесінің істен шығуын орнықтылау. Шындығында аталған қасиет бұл әдістің ойлап табылуына себепші болды. Мысалы, егер коммутаторлардың бірі істен шықса, оған қосылған барлық желі істен шығады. Бірақ дестені коммутациялау барысында деректер «өлген коммутаторды» аралап шығуға жіберіле алады.

Коммутациялау әдістерінің арасындағы тағы бір айырмашылық қызметті төлеу саясаты болып табылады. Арнаны коммутациялау жүйесі дәстүрлі тасымал қашықтығына және желідегі уақытқа төлем алады. Ұялы телефондарда қашықтық рөл ойнамайды (халықаралық қоңыраулардан басқа), ал уақыттың аз ғана маңыздылығы бар (мысалы, 2000 минут тегін тариф 1000 тегін минутқа қарағанда қымбатырақ, кейде түнгі уақыттағы және демалыстағы қоңыраулар жеңілдік болып табылады). Дестені коммутациялау кезінде желідегі уақыт еш есепке алынбайды, бірақ кейде трафик үшін төлем алынады. Провайдерлер қарапайым қолданушылардан кейде екі жаққа да ыңғайлы болғандықтан, ай сайын төлем ақы алып отырады, бірақ магистралдық транспорттық қызметі жергілікті провайдерлерден трафик көлеміне алады. Барлық айырмашылықтар *2.6-кестеде* салыстырылған.

2.6-кесте

Параметр	Арнанық коммутация	Дестенік коммутация
Байланыс орнату	Қажет	Қажет емес
Бөлінген «жезді» жол	Иә	Жоқ
Әр пакет бір жолмен көшіру	Иә	Жоқ
Дестелер дұрыс реттілікпен келеді	Иә	Жоқ
Коммутатордың істен шығу сыншылдығы	Иә	Жоқ
Қол жетімді өткізгіштік қабілет	Белгіленген	Динамикалық
Желінің бос болмау мүмкіндігі	Байланыс орнату барысында	Әр десте үшін
Желінің тұрып қалу мүмкіндігі	Иә	Жоқ
Аралық сақтаумен тасымал	Жоқ	Иә
Төлем	Желідегі уақытқа	Трафикке

Дәстүрлі телефон желілері жоғары сапалы телефон қоңырауларымен қамтамасыз ету үшін арнаны коммутациялау схемасын қолданса, компьютерлік желілер қарапайымдылық және әсерлілік үшін дестелік коммутацияны қолданған. Бірақ бірқатар ерекшеліктер бар. Кейбір ескілеу компьютерлік желілер арналық коммутациялаудың ішкі схемасына (мысалы, X.25) ие болған, ал кейбір жаңа телефондық желілер IP-телефониясы технологиясында дестелік коммутациялауды қолданады. Қолданушы үшін бұл стандартты телефон қоңырауы сияқты көрінеді, бірақ желіде дауыстық дерек дестелерін коммутациялау орын алады. Бұл әдіс телефон картасы көмегімен арзан халықаралық қоңырау нарығына лауазымды тұлғаларға қарағанда төмен қоңырау сапасымен еруге мүмкіндік берді.

2.7. ҰЯЛЫ ТЕЛЕФОН ЖҮЙЕСІ

Дәстүрлі телефон жүйесі (бір күні толығымен көп гигабитті оптоалшықты кабельге өтетін болса да) жолаушылап жүрген көп қолданушының қажеттілігін ешқашан өтей алмайды. Адамдар қазір қоңырау шалуға, сонымен қатар телефонды электронды пошта мен веб-серфингті автомобиль, ұшақ, бассейн, паркте жүгіру сияқты кез келген жерде қолданғысы келеді. Тиісінше, сымсыз телефонияға қызығушылық көп. Осы тақырыпқа қатыстыны келесі параграфтарда қарастырамыз.

Ұялы телефондар дауыс пен деректерді тасымалдауда кеңінен қолданылады. Бүгінгі күні **ұялы телефонның** үш түрлі буыны бар. Бұл буындарды **1G, 2G, 3G** деп атаймыз.

1. Аналогтік дауыстық байланыс.
2. Цифрлық дауыстық байланыс.
3. Цифрлық дауыстық байланыс және деректер алмасу (Интернет, электронды пошта және т.б.)

(Ұялы телефондарды базалық станция мен бір немесе бірнеше ауыспалы тұтқадан құралған сымсыз телефондармен шатастырмау қажет. Олар үй ішінде немесе үйге өте жақын жерде қолданылуға арналған. Оларды ешқашан желіде біріктірмейді, сондықтан біз оларды бұдан кейін қарастырмаймыз).

Біздің талқылауымыздың көп бөлігі бұл жүйелердің техникалық құрылысына арналғанымен, осы типті технологияның даму процесіне политикалық және экономикалық шешімдердің әсер еткенін атап өткен жөн. Бірінші ұялы жүйе американдық AT&T компаниясы тарапынан ұсынылған және FCC комиссиясының келісімімен барлық Құрама Штаттар аумағында ұялы байланыс орнатты. Нәтижесінде бір мемлекет байланыстың бірегей (аналогтік) жүйесіне ие болды және Калифорнияда сатып алынған ұялы телефон Нью Йоркта сәтті қызмет атқарды. Ал Еуропада барлығы керісінше болды, оларға ұялы байланыс жеткенде, әр мемлекет өзіндік жүйесін жасауға тырысты, нәтижесінде барлығы дерлік ұтылды.

Соған қарамастан Еуропа өз қателігінен сабақ алды, цифрлы жүйелер пайда болуымен мемлекеттік телефон қызметтері бірегей стандарт (GSM) жасау үшін бірікті, сондықтан кез келген ұялы телефон Еуропаның кез келген бөлігінде жұмыс істеді. Сол уақытқа дейін АҚШ мемлекеті стандарттауға қатысты бизнестен шықты, сондықтан жаңа цифрлы ұялы жүйелер коммерциялық құрылыстардың бас ауруына айналды. Бұл түрлі өндірушілердің түрлі ұялы телефон шығаруына әкеліп соқты және АҚШ-та екі негізгі өзара сәйкеспейтін ұялы телефон жүйелері және бірнеше шағын жүйелер пайда болды.

АҚШ-тың бастапқы көшбасшылығына қарамастан, Еуропа бүгіндері Штатты ұялы байланыстың атақтылығы бойынша озып кетті. Еуропаның кез келген бөлігінде және кез келген провайдермен жұмыс істейтін бірегей жүйенің болуы негізгі себеп болып табылады, бірақ басқа да себептері бар. АҚШ-тың Еуропадан екінші ерекшелігі телефондық нөмірлердің қарапайым мәселесіне келіп тіреледі. АҚШ-та ұялы мен стационарлық телефон нөмірлерінің еш айырмашылығы жоқ. Мысалы, (212)234-5678 нөмірін теру арқылы қалалық телефонға (арзан немесе жалпы тегін қоңырау) не ұялы телефонға (қымбат қоңырау) түсетінізді білу мүмкіндігі жоқ. Адамдар телефон шалу барысында қайда түсетінін білмей дал болмас үшін телефон компаниялары ұялы телефон абоненттеріне кіріс қоңырау үшін ақша төлеуді міндеттеген. Еуропада ұялы телефондардың нөмірі арнайы кодтан басталады (жалпы бұл нөмір 800-900 арасында), сондықтан оны бірден білуге болады. Телефонияда қабылданған қарапайым ереже орнатуға болады: хабарласушы төлемді төлейді (екеуі де төлем жасайтын халықаралық қоңырауларды қоспағанда).

Ұялы жүйелердің кең тарауына әсер еткен үшінші фактор – әңгімелерге алдын ала төлейтін (кей аудандарда 75%-ға дейін) телефондардың кең етек жаюы. Оны көптеген дүкендерден сатып алуға болады және бұл цифрлы фотоаппарат сатып алудан күрделі емес. Олар, мысалы, 20 не 50 еуроға зарядталады, ал баланстың нөлге төмендеуі жағдайында оны құпия PIN-кодтың көмегімен қайта зарядтауға болады. Қазір мұндай ұялы телефондар кез келген жасөспірімде бар және ата-аналар өзінің баласымен кез келген уақытта байланыста бола алады және баласы телефонмен үлкен сомаға сөйлесуінен қорықпаса болады. Егер ұялы телефон эпизодты қолданылса, онда ол тегін сияқты болады, өйткені әрдайым абоненттік төлемі жоқ немесе кіріс қоңырауларға төлем төленбейтін тариф табуға болады.

2.7.1. Бірінші буынның ұялы телефондары: сөзді аналогтік тасымалдау

Саясат пен бизнес жайлы әңгімені тоқтатып, технологияға кезек берейік. Қарастыруымызды ең алғашқылардан бастайық. Ұялы радиотелефондар эпизодты теңіз кеме қатынасында және XX ғасырдың алғашқы он жылдығында әскерилер тарапынан қолданылған. 1946 жылы Сент-Луида алғашқы автомобильдік телефон жүйесі орнатылды. Оның биік ғимарат шатырында орналасқан үлкен қабылдаушысы және деректерді қабылдау мен тасымалдауға арналған жалғыз ар-

насы болды. Әңгімені бастау үшін жіберуші қосатын және қабылдаушы өшіретін батырмасын басу керек. **Тангенттік** деп аталатын мұндай жүйелер 50-жылдардың соңында кей қалаларда болған. СВ-радио, такси және полиция машиналарында қолданылатын жүйелерде осы технологияғы қолданады.

1960 жылдары ұялы **телефон байланысының кемелдендірілген жүйесі (IMTS, Improved Mobile Telephone System)** пайда болды. Ол таудың шыңында орналасқан күшті (200Вт) жіберушіні қолданды, бірақ екі жиілік арнасы болды: бірі жіберуге, екіншісі деректерді қабылдауға арналды. Сондықтан микрофондық батырма қажетсіз болды. Кіріс және шығыс арналарын бөлу арқылы ұялы телефон қолданушылары басқалардың әңгімесін тыңдай алмады (таксилерде қолданылатын тангенттік жүйелерден ерекшелігі).

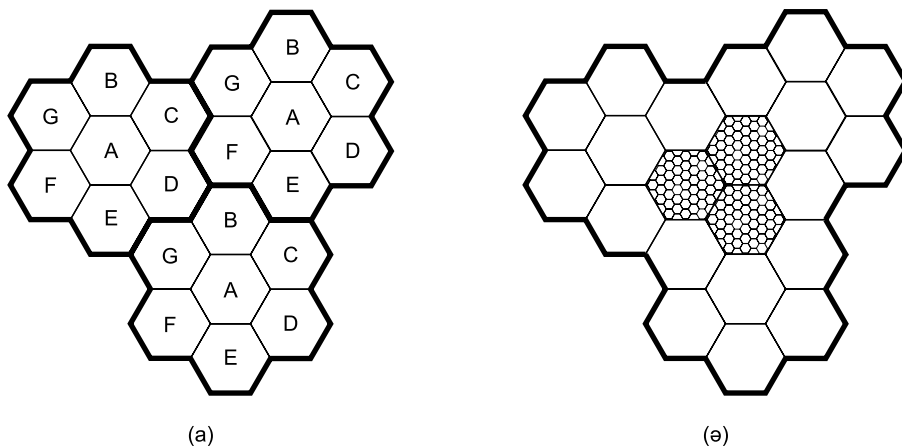
IMTS 150-450 Мгц диапазонындағы 23 арнаны қолдады. Қолданушының арна санының аздығына байланысты желінің босауын күту қажет болды. Жіберушінің күшті қуатынан аралас жүйелер сигнал интерференциясын тудырмас үшін бір-бірінен бірнеше жүз километр қашықтықта орналасуы қажет. Жалпы төмен сыйымдылығына байланысты бұл жүйе қолайлы деп саналмайды.

Кемелдендірілген ұялы телефон байланысы (AMPS)

Bell Labs компаниясында ойлап табылған **Кемелдендірілген ұялы телефон байланысы (AMPS, Advanced Mobile Phone System)** жүйесі пайда болғаннан және 1982 жылы алғаш АҚШ-та орнатылғаннан кейін барлығы өзгерді. Ол Англияда TACS деген атаумен, ал Жапонияда-MCS-L1 атауымен қолданылды. 2008 жылға таман бұл жүйе ресми қолданылуын тоқтатса да, оны жақсартуға 2G, 3G жүйесінің контекстін түсіну үшін қарастырамыз.

Кез келген ұялы телефон жүйесінде географиялық қамту аумағы ұяшыққа бөлінеді (осы жерден ұялы телефон деген атауын алады). AMPS-те ұяшықтың көлемі 10-нан 20 км-ге дейін болады; ал цифрлық жүйелерде ұяшықтар одан да шағын. Әр ұяшық басқасымен қиылыспайтын өзінің жиілігінде жұмыс істейді. Территорияны шамамен кіші ұяшықтарға бөлу және түрлі ұяшықта бірдей жиіліктің (бірақ көршілерде емес) қолдану – AMPS телефон жүйесінің негізінде жатқан идея бұл жүйеге ертеректегі жүйелерге қарағанда әжептәуір мүмкіндіктер береді. Диаметрі 100 км территорияда IMTS жүйесінде әр қоңырау үшін өзіндік жиілік қажет, ал AMTS жүйесі осы аумақта жүз ондаған километрлік ұяшықтан құралады және бір-бірінен өте алыстағы ұяшықтарда бірдей жиілікте 5-10 қоңырау шалуға мүмкіндік береді. Одан басқа ұяшықтардың кіші көлемі жіберушіге қажетті қуаттың аздығын білдіреді, яғни құрылғы аз бағаға шығады.

Жиілікті қайта қолдану идеясы 2.39а-суретте бейнеленген. Ұяшықтардың формасы дөңгелекке ұқсас, бірақ олардың моделін алтыбұрышты есебінде елестеткен оңайырақ. 2.39 а-суреттегі ұяшықтардың көлемі бірдей. Олар бір топқа жеті ұяшық болып біріктірілген. Әр әріп белгілі жиілік топтамасына сәйкес. Бірдей жиілік топтамасы бар ұяшықтар арасында екі ұяшық еніндей аталған жиілік қолданылмайтын буфер орналасқанына назар аударыңыз, бұл бірдей жиіліктегі сигналдарды жақсы бөлуге және кедергі деңгейін төмендетуге мүмкіндік береді.



2.39-сурет. Көрші ұяшықтарда әр түрлі жиілік қолданылады (а); қолданушылардың санын арттыру үшін шағын мөлшерлі ұяшық қолдануға болады (б)

Базалық станцияның антеннасын орналастыруға лайықты төбе табу басты мәселе болып табылады. Бұл мәселені шешу үшін көптеген операторлар әр елде биік құрылыстары көп Рим католиктік шіркеуімен келісімге келген. Олардың бірегей басқару астында болуы да қолайлы.

Егер бір ауданда жүйе толып қалатындай қолданушы саны өссе, жіберушінің қуаты азаяды, ал толып қалған ұяшықтар *2.39-суретте* көрсетілгендей кіші көлемді (**микроұяшық**) ұяшықтарға бөлінеді. Телефон компаниялары кейде үлкен спорттық жарыстарда, концерттерде және бірнеше сағат көлемінде ұялы байланыс қолданушылары шоғырланатын басқа жерлерде спутниктік байланыспен ауыспалы мұнараларды қолдану арқылы уақытша микроұяшықтар жасайды.

Әр ұяшықтың ортасында әрекет зонасында табылатын барлық телефондар байланысатын базалық станция орналасады. Базалық станция компьютерден және антеннамен байланысқан жіберуші/қабылдаушыдан тұрады. Кішірек жүйелерде барлық базалық станциялар **MTSO (Mobile Telephone Switching Office – ұялы телефондардың коммутаторы)** немесе **MSC (Mobile Switching Center – ұялы коммутациялық орталық)** деп аталатын құрылғымен байланысқан. Үлкен жүйеге екінші деңгейлі коммутатормен және т.б. байланысатын бірнеше коммутатор қажет болуы мүмкін. Ұялы телефондардың коммутаторы терезелік телефон станцияларының аналогі болып табылады және шындығында қарапайым телефон жүйесінің, ең кем дегенде, бір соңғы нүктедегі коммутаторымен байланысады. Ұялы телефон коммутаторлары дестені коммутациялауды қолдану арқылы базалық станциямен, жалпы қолданыстағы коммутаторланатын телефон желісімен хабарласады.

Уақыттың кез келген тілімінде ұялы телефон логикаға сәйкес бір ұяшықтың әрекет зонасында болады және осы ұяшықтың базалық станциясы тарапынан

басқарылады. Телефон ұяшықтан физикалық түрде кеткенде, оның базалық станциясы сигналдың әлсіреуін байқайды және жан-жақтағы станциялардан бұл телефон сигналын қаншалықты жақсы естіп тұрғандарын сұрастырады. Сосын базалық станция одан күштірек сигнал қабылдайтын, ұялы телефонның көшкен ұяшығын анықтау арқылы басқаруды телефон ұяшығындағы деректерге береді. Осыдан кейін телефон жаңа БС-ға көшірілгендігі жөнінде құлақтандырылады және егер дәл сол уақыт бөлігінде әңгіме болып жатса, телефонға жаңа арнаға қосылу ұсынылады (көрші ұяшықта бірдей жиілікті арналар қолданылмайды). Мұндай процесс **табыстау (handoff)** деп аталады және 300 мс алады. Жүйенің орталық жүйкесі болып табылатын ұялы телефонның коммутаторы арнаны бекітеді. Базалық станциялар тек ғана радиоретранслятор болып саналады.

Арналар

AMPS жүйесі арналарды бөлу үшін жиіліктік тығыздауды (FDM) қолданады. Ол симплексті арналардың жұбынан тұратын 832 дуплекстік арнаны қолданады. Мұндай құрылысты **FDD (Frequency Division Duplex-жиілікті бөлетін дуплексті режим)** деп атайды. Табыстаудың 832 симплексті арнасы 824-849 МГц диапазонында орналасады, ал қалған қабылдаудың 832 симплексті арнасы – 869-894 МГц аралығында. Әр арнаның ені 30кГц.

Барлық 832 арналарды төрт категорияға бөлуге болады.

1. Жүйені басқару үшін басқарушы арналар (базалық станциядан ұялы телефонға).
2. Ұялы қолданушының хабарламасын табыстау үшін пейджингтік арналар (базалық станциядан ұялы телефонға).
3. Байланыс орнату мен арналарды бекіту үшін қолжетімдік арнасы (екі бағытты).
4. Дауысты, факс немесе деректерді табыстау үшін деректер арнасы (екі бағытты).

Басқаруға 21 арна резервтеледі. Бірдей жиілік көрші ұяшықтарда қолдануға болмайтындықтан, бір ұяшық шегіндегі қол жетімді дауыстық арна саны 832-ден әлдеқайда аз – көбінесе 45 шамасында.

Қоңырауды басқару

AMPS жүйесіндегі кез келген ұялы телефон қайта бағдарламаланатын тұрақты есте сақтау құрылғысында (ППЗУ) жазылатын 32-разрядты реттік нөмірмен және 10-сандық телефон нөмірімен жабдықталады. Телефон нөмірі 10 бит болатын 3-санды облыс кодынан және 24 бит болатын 7-санды абонент нөмірінен тұрады. Қосылу барысында телефон ең күшті сигналды табу үшін 21 басқару арнасындағы бағдарламаланған тізімді сканерлейді. Сосын телефон эфирге өзінің 32-разрядты реттілік нөмірін және 34-разрядты телефон нөмірін жібереді. AMPS жүйесінің барлық басқарылатын ақпараттары сияқты дауыстық арналар аналогтік болғанына қарамастан, бұл десте цифрлық формада жіберіледі.

Базалық станция бұл сигналды естігенде, ол ұялы орталықтың коммутаторына хабарлама жібереді және SEND (жіберу) пернесін басады. Сонымен қатар телефон терілген телефон нөмірін идентификаторымен бірге қол жетімдік арнасы бойынша жібереді. Егер де қақтығыс орын алса, телефон кейінірек мүмкіндікті қайталайды. Егер қоңырау шалушы аталған коммутатор тиесілі байланыс операторының клиенті (серіктесінің біреуі болса) болса, онда коммутатор оған бос арна іздейді. Егер ондай арна табылса, осы арнаның нөмірі басқарушы арнаға қайта жіберіледі. Сосын ұялы телефон таңдалған дауыстық арнаға автоматты түрде көшеді және қоңырау шалынған адам жауап бергенше, күтеді.

Кіріс қоңыраулары керісінше өңделеді. Күту режиміндегі телефондар әрдайым оларға бағытталған хабарламаны күту арқылы пейджингтік арнаны тыңдайды. Қоңырау ұялы телефонға түскенде (карапайым не ұялы телефоннан), десте абоненттің ағымдағы мекен-жайын білетін қоңырау шалушының «үй» коммутаторына табысталады. Бұл десте өзінің ағымдағы ұяшығымен пейджингтік арна бойынша «Элемент 14, сіз мұндамысыз?» сияқты хабарлама жіберетін базалық станцияға жіберіледі. Сол мезетте басқару арнасы бойынша қоңырау шалынып жатқан телефон «Иә» деп жауап береді. Сонда базалық станция оған: «Элемент 14, сізге арна 3 бойынша қоңырау», – деп хабарлайды. Осыдан соң ұялы телефон арна 3-ке көшіп, дыбыстық сигналдар шығара бастайды (немесе иесіне туған күніне сыйлаған әуенді орнатады).

2.7.2. Мобильді телефондардың екінші буыны: дауысты сандық тасымалдау (G2)

Ұялы телефондар жүйесінің біріншісі аналогтық болған. Екінші буын – сандық. Ол дауысты сандық түрге түрлендіріп, тығыздап, өткізгіштік қабілеттіліктің жоғарылауын қамтамасыз етеді. Дауыспен басқарушы сигналды тығыздау және шифрлау қауіпсіздікті жақсартады. Бұл өз кезегінде алаяқтық пен жасырын тыңдаудан, сонымен бірге радио толқынның тарауынан қоңырауларды арнайы іздеуден қорғайды. Соңында бұл мәтіндік хабарламалармен алмасу тәрізді жаңа қызмет түрлерін көрсетуге мүмкіндік береді.

Ұялы телефондардың бірінші буындыда нақты стандарттар болмады және екінші буында да пайда болған жоқ. Бірнеше түрлі жүйелер құрастырылды, алайда олардың тек үшеуі кеңінен таралды.

D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System – мобильді телефондардың сандық жетілдірілген жүйесі) AMPS сандық версиясы болып табылады. Ол AMPS бірге қатар өмір сүріп, бір жиілік арнасына бірнеше шақыруларды орналастыру үшін уақытты бөліп тығыздауды пайдаланады. Ол Халықаралық IS-54 және IS-136 стандарттарында сипатталған. **GSM (Global System for Mobile communications – мобильді байланыстың ауқымды жүйесі)** АҚШ-та танымалдыққа баяу ие болуына қарамастан басым жүйе болып келеді, ол қазір әлемнің кез келген жерінде қолданылады. GSM де D-AMPS тәрізді жиілік және уақыттық тығыздауды

байланыстыруға негізделген. IS-95 Халықаралық стандартында сипатталған CDMA (Code Division Multiple Access – арнаны кодтық бөлу арқылы көпшілік қол жеткізу) жүйенің мүлде басқа түрі болып табылады және жиілік тығыздатуға да, уақыттық тығыздатуға да негізделмеген. CDMA екінші буынның басым жүйесі болмаса да, бұл технология үшінші буын негізін қалады.

PCS (Personal Communications Services – дербес байланыс қызметі) атауы кейде маркетинг әдебиеттерінде пайдаланылады және екінші буын жүйесін білдіреді (сандық, әрине). Алғашқыда 1900 МГц диапазонында жұмыс жасайтын телефон осылай аталған қазір ол айырмашылық жойылған.

Ары қарай біз GSM сипаттаймыз, себебі ол танымал 2G жүйесі. Келесі тарауда 3G-ді айтқан кездебіз CDMA-ны егжей-тегжейлі қарастырамыз.

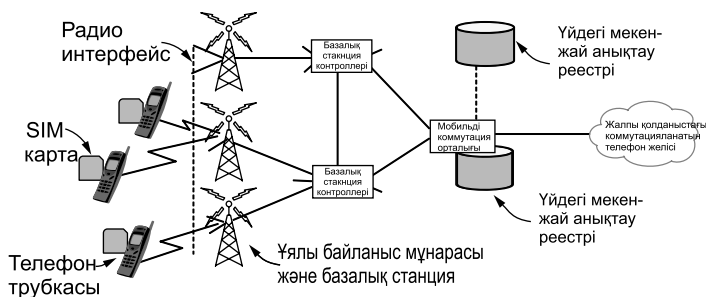
GSM – мобильді байланыстың ауқымды жүйесі

GSM 1980 жылы екінші буынның бірден-бір еуропалық стандартын құрастыруға талпынысы ретінде пайда болды. Мәселені шешу, француз тіліндегі атауы Groupe Speciale' Mobile телекоммуникациялық компанияға жүктелген болатын. Алғашқы GSM жүйесі 1991 жылдан бастап пайда болып, тез жетістікке жетті. Сол сәттен бастап GSM-ің Австралияға дейін жетіп, үлкен жетістікке жететіні түсінікті болды, сондықтан үлкен әлемдік айналымға ие болу үшін оның аты өзгертілді.

GSM және біз қарастыратын басқа да мобильді байланыс жүйелері бірінші буыннан келе жатқан ұя құрылымын, ұядағы жиілікті қайта пайдаланғанда және тұтынушы қозғалыста болғандағы байланыс мобильділігін сақтаған. Тек егжей-тегжейі ғана ерекше. Төменде біз GSM тек негізгі қасиеттерін қарастырамыз. GSM стандартының баспа нұсқасы 5000 парақтан астам. Мәтіннің негізгі бөлігі жүйенің инженерлік тұсын, қабылдауыш пен жөнелтушіні синхронизациялауды сипаттауға арналған. Біз бұл кітапта қабылдауыш жайлы да, жөнелтуші жайлы да айтпаймыз.

Компоненттер аты басқаша болғанымен GSM құрылымының AMPS құрылымына сәйкес ұқсас екенін *2.40-суреттен* көруге болады. Мобильді телефоненді телефон тұтқасымен Сим-карта (**SIM card – Subscriber Identity Module – абонент бірегейлік модулі**) деп аталатын абонент және есеп жазбасы жайлы ақпарат жазылған ауыстырмалы чиптен тұрады. Сим-карта телефон трубкасын активтендіреді және мобильді телефон мен желіні бір-бірімен сәйкестендіріп, әңгімені шифрлауға мүмкіндік беретін құпия ақпараттан тұрады. Сим-картаны бір телефон трубкасынан алып екіншісіне салуға болады.

Ұялы телефондар ұялы базалық желімен **радио интерфейс** арқылы байланысады. Біз оны кейін сипаттаймыз. Ұяның әр базалық станциясы ұяның радио ресурстарын басқарап, тасымалдауды өңдейтін **BSC-мен (Base Station Controller – базалық станция контроллері)** байланысқан. Базалық станция контроллері өз кезегінде қоңырауларды бағыттап, **PSTN-мен (Public Switched Telephone Network – ортақ қолданыстағы коммутацияланатын телефон желісі)** байланыстыратын мобильді коммутациялау орталығымен байланысқан (AMPS-тегідей).



2.40-сурет. GSM мобильді желісінің құрылымы

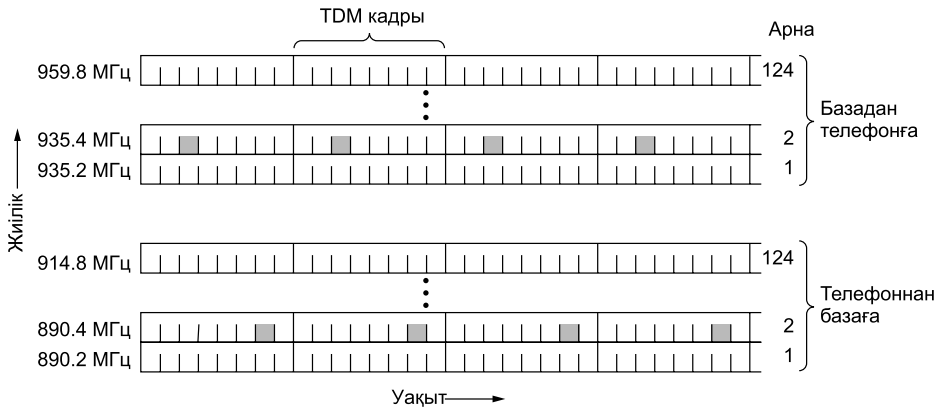
Қоңырауларды бағыттау үшін мобильді коммутациялау орталығы ұялы телефонның осы кезде қайда тұрғанын білуі керек. Ол орталық басқаратын өз ұялы телефондарының айналасында орналасып, ұямен байланысқан деректер базасын қолдайды. Бұл деректер базасы **VLR (Visitor Location Register – орналасқан жердің қонақтық реестрі)** деп аталады. Сонымен бірге, мобильді желіде әр ұялы телефонның ең соңғы белгілі орналасқан жерін беретін деректер базасы бар. Ол **HLR (Home Location Register – орналасқан жердің үй реестрі)** деп аталады. Бұл деректер базасы кіріс қоңырауларды дұрыс орналасқан жерге жөнелту үшін қолданылады. Ұялы телефондар ұядан ұяға қозғалып отыратын болғандықтан екі деректер базасы да үнемі жаңартылып отыруы тиіс.

Біз енді радио интерфейсті толығырақ сипаттаймыз. GSM бүкіл әлемде 900, 1800 және 1900 МГц қоса бір жиілікте жұмыс істейді. AMPS-дегіден үлкен диапазон үлкен көлемдегі тұтынушылар санын қолдау үшін бөлінген. GSM AMPS тәрізді жиілікті дуплексті бөлетін ұялы жүйе. Сонымен әр ұялы телефон бір жиілікте жөнелтіп, басқа әлдеқайда жоғары жиілікте (55 МГц жоғары GSM үшін, 80 МГц жоғары AMPS үшін) қабылдайды. Алайда, AMPS қарағанда GSM-нің жеке жиіліктер жұбы уақытты бөлуді мультиплекстеу арқылы уақыт слоттарына бөлінген. Сөйтіп оны бірнеше ұялы телефондар бірігіп пайдаланады.

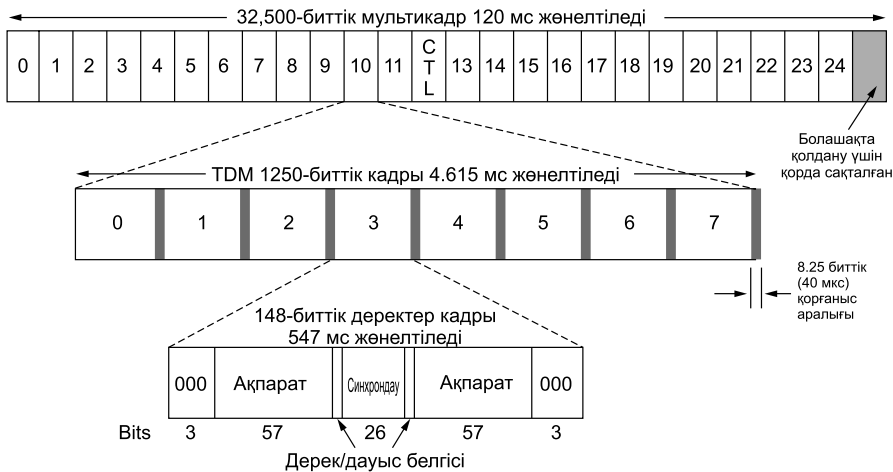
Бірнеше ұялы телефондарды басқару үшін GSM арналары AMPS-ге қарағанда әлдеқайда кең (200кГц). Жиіліктің әр жолағының ені *2.41-суретте* көрсетілгендей 200 кГц. GSM жүйесінің 900 МГц диапазонында 124 симплексті арналар жұбы бар. Әр симплексті арнаның өткізгіштік қабілеттілігі 200 кГц құрайды. Арна уақытша тығыздау арқылы 8 жеке байланысты қолдайды. Осы сәтте екпінді әр базальқ станция үшін бір кадрлық интервал екі арнаға беріледі. Теориялық тұрғыдан әр ұя 992 арнаға ие бола алады, алайда олардың көбін көршілес ұялармен шиеленіс болмас үшін саналы түрде қолжетімсіз етіледі. *2.41-суреттегі* сегіз штрихталған кадр аралығы бір байланысқа тиесілі, әр бағытта төрттен. Қабылдау және жөнелту әр түрліаралықта жүргізіледі, себебі GSM аппаратурасы бір мезгілде екі режимде жұмыс істей алмайды және алмасуға біраз уақыт қажет. Егер мобильді станцияға 890,4/935,4 МГц диапазоны берілсе және 2 кадр аралығы базальқ станцияға тасымалдағысы келсе, онда ол төменгі штрихталған аралықтарды тобын (сонымен

бірге келесі) пайдаланады. Ол олардың әрқайсысына деректер бөлігін орналастырады. Сөйтіп, деректер толығымен жөнелтілгенше қайталанады.

2.41-суретте бейнеленген TDM аралықтары кадрлардың күрделі бағынышты сатысы жүйесінің бөлігі болып келеді. Әр аралықтың және оның тобының арнайы құрылымы бар. Қарапайымдалған бағынышты саты 2.42-суретте бейнеленген. Біз бұл жерден TDM аралығының арнаны 577 мкс (ұзындығы 30 мкс қорғаныс аралығын қоса) алатын 148-биттік деректер кадрынан тұратынын көреміз. Деректер кадры үш нөлден басталып, үш нөлмен аяқталады. Бұл оларды айыру үшін қолданылады. Оларға, сонымен бірге 57-биттік ақпараттық (*Information*) өріс кіреді. Өрістің әрқайсында ішіндегіні (дыбыс/дерек) тексеру үшін бақылау биті орналасады. Ақпараттық өрістер арасында 26-биттік синхрондау (*Sync*) өрісі орналасады. Бұл өрісті қабылдаушы жөнелтуші кадрының шекарасымен синхрондау үшін пайдаланады.



2.41-сурет. GSM-нің 124 жиілік каналы бар, әрқайсында уақытты бөлуі бар 8-аралықтық жүйе орналасқан



2.42-сурет. GSM кадрының бағынышты сатылық құрылымының бөлігі

Деректер кадры 547 мкс-та тасымалданады, алайда жөнелтуші арнаны басқа жеті станциямен бөлісетін болғандықтан деректер оған тек әр 4,615 мс сайын жөнелтіледі. Әр арнаның жалпы жылдамдығы 270 883 бит/с-ты құрайды. Ол 8 тұтынушы арнасында бөлінеді. Сонда да AMPS-дағыдай өткізгіштік қабілеттіліктің үлкен бөлігі үстеме шығындарға жұмсалады, нәтижесінде бір тұтынушыға 24,7 Кбит/с келеді (қателіктерді түзету алдында). Қателіктер түзетілгеннен кейін дауысты тасымалдауға 13 Кбит/с қалады. Бұл қозғалыссыз телефон желісіндегі 64 Кбит/с тығыздалмаған дыбыстық сигналдың импульсты кодтық модуляциясына қарағанда әлдеқайда аз болғанымен мобильді құрылғыдағы тығыздау осы деңгейге аз ысырап сапасымен жете алады.

2.42-суретте көрсетілгендей деректердің 8 кадры бір TDM кадрына біріктіріледі, ал 26 TDM кадры 120-миллисекундтық мультикадр (мультифрейм) құрайды. Мультифреймдегі он екінші аралық қызметтік мақсатта қолданылады, ал жиырма бесінші болашақта қолдану үшін қорда сақталады, сондықтан тұтынушы трафигі үшін тек 24 аралық қалады.

Сонда да, *2.42-суретте* көрсетілген 26-аралықтық мультифреймге қосымша 51-аралықтық мультифрейм (суретте көрсетілмеген) қолданылады. Кейбір аралықтар арнаны басқару үшін қажет. **Кең таратылымды** басқарушы арна – базалық станциядан шығатын, сәйкестендіру ақпараты және арна статусынан тұратын толассыз ағын. Барлық мобильді құрылғылар сигнал қуаттылығына мониторинг жасап, жаңа слоты аумағына кіргендігін анықтап отырады.

Бөлінген басқарушы арна мобильді телефонды іздеу, ол жайлы ақпаратты жаңарту, тіркеу және байланыс орнату үшін қолданылады. Атап айтқанда, әр базалық станцияда осы сәтте өз басқаруында тұрған телефондардың деректер базасы бар. Осы базаны жаңарту үшін қажет ақпарат бөлінген басқарушы арна арқылы беріледі.

Соңында, тағы үш логикалық ішкі арнаға бөлінетін **жалпы басқарушы арна** бар. Біріншісі – **пейджингілік канал**. Ол арқылы базалық станция кіріс қоңыраулары жайлы хабарлайды. Әр ұялы телефон жауап беруге тиіс қоңырау күтіп оны үнемі таңдап отырады. Екіншісі – **кездейсоқ қол жеткізу арнасы**. Тұтынушыға бөлінген басқарушы арнадағы аралыққа сұраныс беруге мүмкіндік береді. Егер екі сұраныс қақтығысса, онда олар өзгеріп, кейіннен қайта талпыныс жасауға тура келеді. Бөлінген басқарушы арна көмегімен ұялы телефон шығыс қоңырауын жөнелте алады. Иеленген аралық үшінші ішкі арна көмегімен хабарланады – **қол жеткізуді ұсыну арнасы**.

Сонымен, GSM AMPS-нен тасымалдауды өңделумен ерекшеленеді. AMPS-да тасымалдауды MSC мобильді құрылғылардың көмегінен толық басқарады. GSM-дегі уақыттық слоттар мен мобильді телефондар уақыттың үлкен бөлігінде жөнелтпейді де, қабылдамайды да. Активті емес слоттар – ұялы телефонға басқа көршілес базалық станциялар сигналының сапасын өлшеуге мүмкіндік береді. Ол сигнал сапасын өлшеп, ақпаратты BSC-қа жөнелтеді. BSC ақпаратты тасымалдау үшін ұялы телефон қай кезде бір ұядан шығып басқасына кіргенін анықтауда пайдалана алады. Бұл схема **MAHO (Mobile Assisted HandOff)** схемасы деп аталады.

2.7.3. Үшінші буын мобильді телефондары: сандық дауыс және деректер

Ұялы телефондардың бірінші буыны дыбыстық аналогтық, ал екіншісі дыбыстық сандық болды. 3G деп аталған үшінші буын деректерді де, дыбысты да сандық түрде тасымалдауды ұсынады.

Бұл саланың дамуына көптеген факторлар әсер етеді. Біріншіден, тасымалданатын деректер көлемі тұрақты желіде тасымалданатын сөз көлемінен асып кетті және бірінші көрсеткіш экспоненциалдық түрде өседі, ал екіншісі тым баяу. Көптеген сарапшылар мобильді желілердің болашағын да осылай жорамалдайды: деректер трафигі дауыс трафигінен асып кетеді. Екіншіден, компьютер индустриясы мен телефония және сауық индустриясы толығымен сандық түрге ауысты және жылдам бірігіп келеді. Көпшілік портативті құрылғының жеңіл және ықшамдығы қызықтырады, сонымен бірге ол телефон, компакт-диск ойнатқыш, DVD-ойнатқыш, электронды пошта терминалы рөлін атқарады, веб-интерфейсі, мәтіндік редактор, ішінде ойындар, тағы да көптеген мүмкіндігі бар және осының барлығы халықаралық сымсыз жоғары жылдамдықты Интернетпен байланысқан.

Apple фирмасының iPhone3G құрылғысы жақсы мысал бола алады. Онымен адамдар сымсыз ақпараттық қызметке қосыла алады және AT&T компаниясының сымсыз деректер көлемі iPhone танымалдығымен қатар шапшаң өсіп келеді. Мәселе iPhone-нің 2,5G желісін қолдануында. Бұл жақсартылған 2G, бірақ нағыз 3G емес және тұтынушылар бақытты болуға қажет ақпараттық сыйымдылығы жеткіліксіз. 3G мобильді телефониясы тұтынушылар бақытты болуға қажет сымсыз өткізгіштік қабілеттіліктің жеткілікті санын қамтамасыз ете алады.

1992 жылы ITU, халықаралық телекоммуникация одағы осы армандарды нақтылап, жүзеге асыру үшін IMT-2000 атты жоба шығарды. Мұндағы IMT (International Mobile Telecommunications) – Халықаралық мобильді байланыс дегенді білдіреді.

IMT-2000 желісінің көрсететін негізгі қызмет түрлері келесідей болады деп жобаланған:

1. Жоғары сапалы дыбыс тасымалдау.
2. Мәлімдемелермен алмасу (e-mail-ді, факсты, SMS, чатты және т.б. алмастыру).
3. Мультимедиа (музыка, бейне, фильмдер, теледидар және т.б. ойнату).
4. Интернетке қол жеткізу (аудио- және бейне ақпараттары бар парақтарды қоса).

Бейнеконференциялар, терепрезентациялар, топтоқ электронды ойындар, мобильді коммерция (тауар ақысын төлеу үшін мобильді телефонды пайдалану) қосымша қызмет түрлері бола алады. Одан бетер, бұл қызметтердің барлығы бүкіл әлемде (тұрақты желі жоқ жерде спутник арқылы автоматты түрде байланыс орнатып), үнемі байланысу және кепілді қызмет көрсету сапасы мен қолжетімді болуы тиіс.

ITUIMT-2000-ды өндірушілер бүкіл әлемде сатылатын әмбебап құрылғы (компьютер және компакт-диск ойнатқыштар тәрізді) шығара алатындай бірегей техно-

логия ретінде ойластырды. Бір стандартты технология байланыс операторларының өмірін жеңілдетті, тұтынушыларды көптеп тартады. Форматтар соғысы (бейне-жазба әлемінде Betamax және VHS-пен осылай болды) бизнеске кері әсер етті.

Бұл тым оптимистік ой еді. 2000 нөмірі үш нәрсені білдірді: (1) жұмыс істейді деп болжалған жыл; (2) жұмыс істейді деп болжалған жиілік (МГц) және (3) қызметтің болжамалы өткізгіштік қабілеттілігі (Кбит/с). Үш пункттің үшеуіне қол жеткізілмеді. 2000 жылға ешнәрсе жүзеге асырылмады.

ITU барлық елдер үкіметіне 2ГГц жиілікті халықаралық роуминг үшін қорда сақтауды ұсынды. Ұсынысты тек Қытай елі қолдады. Алайда, қандай да бір сәтте әр тұтынушыға 2 Мбит/с өткізгіштік қабілеттікті бөліп беру мүмкін еместігін түсінді, әсіресе көптеген тұтынушылардың шамадан тыс қозғалғыштығын есепке алғанда (іс жүзінде бір базалық станциядан екіншісіне жоғары жылдамдықпен тасымалдау мүмкін емес). Үйде отырған тұрақты абоненттерге 2 Мбит/с бөлу (мұндай жүйе ADSL-ге байыпты бәсекелес болар еді), паркте асықпай серуендеп келе жатқан абоненттермен байланысқа 384 Кбит/с және автомобильде келе жатқандар үшін 144 Кбит/с әлдеқайда шынайылыққа жақын еді.

Бастапқыдағы сәтсіздікке қарамастан осы уақытқа дейін көптеген жетістіктерге қол жеткізілді. Бірнеше техникалық ұсыныстар жасалды, ақырында олардан тек екі технология қалды. Біріншісі **WCDMA – кеңжолақты CDMA (Wideband CDMA)** деп аталды. Бұл технологияны Ericsson фирмасы ұсынған, Еуропалық одақ **UMTS (Universal Mobile Telecommunications System – мобильді байланыстың әмбебап жүйесі)** деген атпен ілгері бастырды. Екіншісі, Qualcomm ұсынған **CDMA2000** жүйесі.

Бұл жүйелердің ерекшеліктерінен ұқсастықтары көп. Екі жүйенің де базалық принципі, бұл CDMA да, WCDMA да 2МГц өткізгіштік жолағын пайдаланады, ал CDMA2000 – 1,25МГц. Егер Ericsson және Qualcomm инженерлерін келісім үстеліне отырғызып, бірегей жүйені таңдау мәселесін қойса, олар бұл мәселені тез арада шешер еді. Өкінішке орай негізгі мәселе, инженерлік шешім емес, әдеттегідей саясат. Еуропаға GSM-мен жұмыс істей алатын жүйе, ал Құрама Штаттарға сол жердегі қолданыстағы жүйемен (IS-95) үйлесімді жүйе қажет болды. Әр ел өз компаниясын қолдады (Ericsson Швецияда, Qualcomm – Калифорнияда). Соңында екі компания да CDMA технологиясы патентімен байланысты көптеген дауға тартылды.

Қазір бүкіл әлемдегі мобильді байланыс абоненттерінің 10-15% 3G технологиясын қолданады. Солтүстік Америка және Еуропадағы мобильді абоненттердің үштен бір бөлігі – 3G. Жапония алғашқылардың бірі болатын, қазір ондағы ұялы телефондардың барлығы – 3G. Қызметтің үлкен бір қазанындай нарық сілкіністе болғандықтан бұл санға UMTS те, CDMA2000 да, 3G де кіреді. Ретсіздікті қоса түсу үшін UMTS 3G-дің CDMA2000 қоса алғанда, әр түрлі үйлесімсіз опциялары бар жалғыз стандарты болды. Бұл өзгеріс тартысушы жақтарды біріктіруге талпыныс болатын, бірақ ол тек техникалық өзгешеліктерді тегістейді. Біз UMTS дегенде CDMA 2000 емес, WCDMA жайлы айттамыз.

Біз талқылауды CDMA-ны ұялы байланыста пайдаланумен шектелеміз, себебі

бұл екі жүйенің ерекшелігі. CDMA-да арнаны уақыттық және жиіліктік бөлу жоқ, бірақ әр тұтынушы байланыс орнатылған сол диапазонда, сол уақытта жұмыс істейді. Ұялық жүйеге бұл бірінші рет ұсынылған кезде, өндіріс, Изабелла ханым Колумбтың батысқа бағытталып Индияға жетемін деген ұсынысына ілтипат білдіргендей жауап қайтарды. Алайда, Qualcomm компаниясы табандылығының арқасында CDMA 2G жүйесі (IS-95) ретінде жетістікке жетіп, нығайып 3G үшін техникалық негіздемеге айналды.

CDMA-ны ұялы телефонда жұмыс істеуге мәжбүрлеу, біз алдыңғы тарауда сипаттаған CDMA негізгі тәсіліне қарағанда әлдеқайда көп күшті қажет етеді. Біз элементер тізбектері қатаң ортогональды болып келетін синхронды CDMA-ны сипаттағанбыз. Бұл схема базалық станциядан ұялы телефонға тасымалданғандай, барлық тұтынушылар элементар тізбектің басталу уақытына синхрондалған кезде жұмыс істейді. Базалық станция бір уақытта басталатын элементар тізбектерді сигнал ортогональ болатын және бір-бірінен ажыратылатындай етіп жөнелте алады. Олардың сигналдары арнайы күшсіз-ақ, ортогональдық кепілдігінсіз базалық станцияға әр түрлі уақытта жетер еді. Ұялы телефондар базалық станция сигналын синхронизациясыз тасымалдай алу үшін кез келген ығысуда ортогональды болатын кодтар тізбегі қажет.

Жалпы жағдай үшін ортогональды болатын кодтар тізбегін табу мүмкін емес болғанымен, ұзын, жалған кездейсоқ тізбектер оған өте жақын. Олардың өзіндік ерекшелігі бар – кез келген ығысуда **өзара төмен корреляция**. Бұл бір тізбекті екіншісіне көбейткен кезде, ішкі көбейту нәтижесі кішкене болады дегенді білдіреді, егер олар ортогональды болса, көбейтінді нөл болар еді. (Интуитивті кездейсоқ тізбек әрқашан да бір-бірінен өзгеше болуы тиіс. Олардың көбейтіндісі төмен деңгейдегі кездейсоқ сигнал беруі тиіс). Бұл қабылдаушыға алынған сигналдан қажетсіз бөгеттерді сүзбелеуге мүмкіндік береді. Сонымен бірге, жалған кездейсоқ тізбектер автокорреляциясы тек кездейсоқ нөлдік ығысудан басқа жағдайда кіші болып келеді. Бұл, бір тізбек өзінің мерзімі ұзартылған көшірмесіне көбейтіліп, қосылғанда кідіріс нөл болған жағдайдан басқа кезде нәтиже кіші болады дегенді білдіреді. (Интуитивті мерзімі ұзартылған кездейсоқ тізбек басқа кездейсоқ тізбекке ұқсас, біз өзара корреляция жағдайына қайтып оралдық.) Бұл қабылдаушыға алынған сигналдан қажет тасымалдаудың басын анықтауға мүмкіндік береді.

Жалған кездейсоқ тізбекті пайдалану базалық станцияға синхрондалмаған мобильдік станциялардан CDMA мәлімдемелерін алуға мүмкіндік береді. Алайда, біздің CDMA талқылауымыздағы күңгірт болжамымыз – қабылдауыштағы барлық ұялы телефондар қуаты бірдей. Кері жағдайда күшті синалы бар өзара корреляция әлсіз сигналы бар үлкен автокорреляцияға өтуі мүмкін. Сонымен, бәсекелес сигналдар арасындағы интерференцияны азайту үшін, мобильді телефондардың тасымалдау сигналы деңгейін басқару қажет. Нақты осы араласу CDMA жүйесінің өткізгіштік қабілеттілігін шектейді.

Базалық станцияда алынған қуат деңгейі жөнелткіштің қандай қашықтықта орналасқанына және оның қандай қуатпен тасымалданатынына тәуелді. Базалық

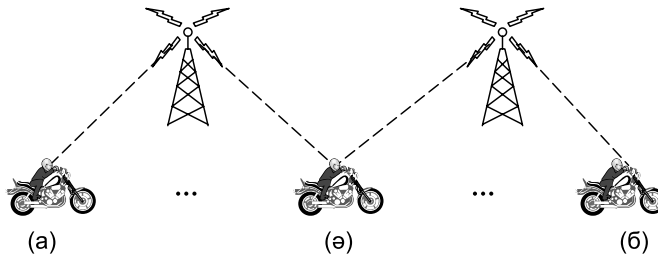
станциядан әр түрлі қашықтықта орналасқан мобильді станциялар көп болуы мүмкін. Алынған қуатты теңдестеруге мүмкіндік беретін жақсы эвристикалық алгоритм – базалық станция сигнал қуаты деңгейінің инверсиясын пайдалану. Басқа сөбен айтқанда, базалық станциядан әлсіз сигнал алған мобильді станция, күшті сигнал алған станцияға қарағанда үлкен қуатты пайдаланатын болады. Үлкен дәлділік үшін базалық станция жөнелтілген сигнал деңгейін жоғарылату, төмендету немесе тұрақты деп санау үшін әр мобильді станцияға кері байланыс береді. Кері байланыс жиі беріледі (секундына 1500 рет), себебі интерференцияны азайту үшін жақсы басқару өте маңызды.

Біз ертеде сипаттаған CDMA базалық схемасының тағы бір жақсартылымы – әр түрлі тұтынушыларға деректерді түрлі жылдамдықпен жөнелтуге мүмкіндік беру. Бұл айлаға CDMA чиптер тасымалданатын жылдамдықты бекіту және әр түрлі ұзындықтағы тұтынушылар чипі тізбегін тағайындау арқылы қол жеткізеді. Мысалы, WCDMA-да чиптер жылдамдығы 3,84 чип/с, ал кодтық тізбек 4-тен 256 чиптен тұрады. 256 чиптен тұратын кодты пайдаланған кезде қателіктеді түзеткеннен кейін шамамен 12Кбит/с қалады, бұл дыбыстық шақыру үшін жеткілікті. Төрт чиптен тұратын код үшін тұтынушының деректер тасымалдау жылдамдығы 1 Мбит/с-ке жақын. Аралық ұзындықтағы кодтар аралық жылдамдық деңгейін береді: секундына үлкен мегабитке жету үшін ұялы телефон ені 5 МГц бірнеше арнаны пайдалануы тиіс.

Енді CDMA-ны жұмыс істеуге мәжбүрлей отырып кедергілермен істес болғанымызды ескеріп, оның артықшылықтарын сипаттайық. CDMA-ның үш негізгі артықшылығы бар. Біріншіден, CDMA кейбір жөнелткіштер үнсіз болған кезде кішкене аралықтарды өз пайдасында қолданып, өткізгіштік қабілеттілікті жақсартуы мүмкін. Сыпайы дыбыстық шақыруларда бір жақ сөйлеп жатқан кезде екіншісі үнсіз болады. Орта есеппен уақыттың тек 40%-ы бос емес болады. Алайда үзілістер тым кішкентай және болжамсыз болуы мүмкін. Уақыт және жиілікті тығыздауды пайдалану кезінде бұл кішкене үзілістерді пайдаланып қалу үшін уақыт немесе жиілік каналын шапшаң тағайындау мүмкін емес. Алайда CDMA-да бір тұтынушыдан тасымалдаудың болмауы басқа тұтынушыларға әсерді төмендетеді және тұтынушылардың кейбір бөлігі осы уақытта бос емес ұяда тасымалдамауы ықтимал. Сонымен CDMA-да бір мезгілдегі шақырулар санын жоғарылату үшін күту үзілісін өз пайдасында қолданады.

Екіншіден, әр ұя бір жиілікті пайдаланады. GSM және AMPS-тен ерекшелігі – әр түрлі тұтынушылар тасымалдауын айыру үшін жиілікті тығыздау қажет емес. Бұл жиілікті жобалаумен байланысты қиындықтарды жойып, өткізгіштік қабілеттілікті жақсартады. Бұл, сонымен бірге базалық станция үшін барлық бағыттағы антенна орнына түлі бағыттағы антеннаны немесе **секторлық антеннаны** пайдалануды жеңілдетеді. Бағытталған антенналар белгіленген бағыттағы сигналды шоғырландырады және басқа бағыттағы сигналды кішірейтеді, демек интерференциялайды. Бұл өз кезегінде өткізгіштік қабілеттілікті жоғарылатады. Секторға бөлудің үш әдісі кең таралған. Базалық станция ұялы телефонның бір сектордан екіншісіне көшкенін қадағалап отыруы тиіс. CDMA-да бұны жүзеге асыру жеңіл, себебі барлық жиіліктер барлық секторларда қолданылады.

Үшіншіден, CDMA ұялы телефон жаңа базалық станцияны алдыңғысы өшкенше анықтайтын **жұмсақ тасымалдауды (soft handoff)** жеңілдетеді. Сонымен үздіксіздік жоғалмайды. Жұмсақ тасымалдау *2.43-суретте* көрсетілген. Балама таңдау – **қатаң тасымалдау (hard handoff)**, мұнда базалық станция шақыруды жаңа станция алғанша үзіп тастайды. Егер жаңа станцияның шақыруды қабылдауға мүмкіндігі жоқ болса (мысалы, қолжетімді жиілік жоқ болғандықтан) шақыру үзіледі. Тұтынушылар бұны сезеді, бірақ кемшілік ағымдағы конструкцияға байланысты. Қатаң тасымалдау – екі жиілікте бірмезгілде мобильді жөнелту немесе қабылдау шығындарын азайту үшін, жиілікті тығыздауды пайдалану кезінде қалыпты жағдай.



2.43-сурет. Жұмсақ тасымалдау: а – алға; ə – сол уақытта; б – кейін

3G жүйесі жайлы көп жазылған және де пікірлердің көбі сүйсіне мадақтаулар. Мобильді байланыстың үшінші буыны жайлы көбі нан кескіш ойлап табылғаннан бергі ең үлкен жетістік ретінде жазады. Дәл осы кезде байланыс операторлары 3G бағытында **2,5G** (дәлірек 2,1G деуге болар еді) ұсынып, өздерінің алғашқы қадамдарын абайлап жасауда. Осындай жүйенің бірі **EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution – GSM-ді дамыту үшін тасымалдау жылдамдығын өсіру)** деп аталады және бір символға биттер саны жоғарылатылған әдеттегі GSM болып келеді. Мәселе, символға берілетін биттер саны өскен сайын қателік ықтималдығының жоғарылауында. Сондықтан EDGE-де қателіктерді модуляциялау және түзетудің тоғыз түрлі схемасы пайдаланылады. Олар бір-бірінен жоғары жылдамдық салдарынан орын алатын қателікті түзетуге жұмсалатын өткізгіштік қабілеттілік пайызымен ерекшеленеді.

EDGE технологиясы – GSM мен WCDMA-ны бөліп тұрған эволюциялық жол бойымен жасалған бір қадам. Дәл осы сияқты желілерді IS-95-тен CDMA2000-ға дейін жаңарту үшін операторларға анықталған эволюциялық жол бар.

3G желісінің толық өріс алмағанына қарамастан, кейбір зерттеушілер 3G-ді шешілген іс ретінде бағалайды. Олар **LTE (Long Term Evolution)** деп аталған төртінші буын жүйесін құрастырумен айналысуда. Ұсынылған 4G-дің кейбір ерекшеліктері – жоғары өткізгіштік қабілеттілік; кез келген жерде байланыстың қолжетімділігі; басқа сымсыз және сымды IP-желілермен бірқалыпты бірігу, 802.11-ді қоса; бейімделген ресурс және спекторды басқару; мультимедиа үшін

жоғары сапалы қызмет көрсету. Қосымша ақпарат алу үшін Astely et al. (2009) және Larmo et al. (2009) қараңыз.

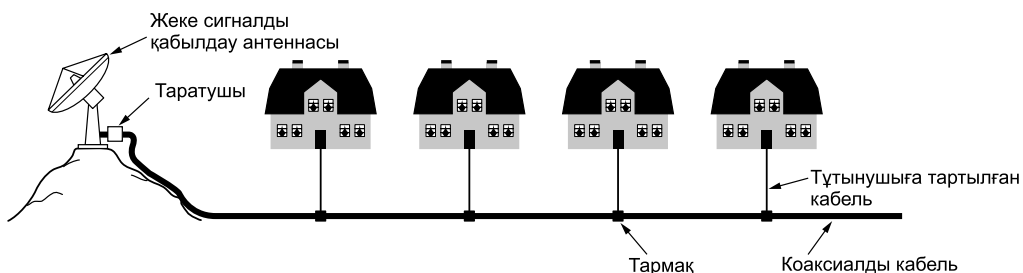
Дәл осы кезде 4G деңгейіндегі өткізгіштік қабілеттілігі бар сымсыз желілер қолжетімді. Негізгі мысал, **802.16**, ол сонымен бірге **WiMAX** деген атпен белгілі. Мобильді WiMAX жайлы қысқаша шолуды Ахмади (2009) басылымынан оқыңыз. Өндіріс екпінді дамып келе жатыр деу – үлкен төмендету. Бірнеше жылдан кейін не болатынын көреміз.

2.8. КАБЕЛЬДІ ТЕЛЕДИДАР

Біз тұрақты және сымсыз телефон жүйелерін желілерді азды-көпті қарастырдық. Олар, әрине, болашақтың желілік технологияларында маңызды рөл атқаратын болады. Дегенмен де, баламалы тұрақты желілік технология – кабельдік теледидар – басым болып келеді. Қазіргі кезде көптеген тұтынушылар Интернет және телефон қызметтеріне кабельді желі арқылы қол жеткізеді. Келесі бөлімде біз кабельдік теледидарды желілік құрылым және жоғарыда талқылаған телефон жүйесіне балама ретінде қарастырамыз. Бұл тақырып жайлы қосымша ақпаратты Donaldson және Jones (2001), Dutta-Roy (2001), Fellows және Jones (2001) басылымдарынан оқуға болады.

2.8.1. Абоненттік теледидар

Кабельдік теледидар алғаш рет 1940 жылдың соңында пайда болды және ол алшық орналасқан ауыл-аймақтар мен таулы жерде сигнал қабылдауды жақсарту ретінде жасалған амал болатын. Жүйе бастапқыда жота үстінде орналасқан үлкен антеннадан тұратын. Антенна *2.44-суретте* бейнеленгендей **таратушы құрылғы** деп аталатын күшейткіштен теледидар сигналын қабылдап, коаксиалды кабель арқылы абоненттерге жеткізіп отырды.



2.44-сурет. Кабельді теледидардың алғашқы жүйесі

Бастапқыда мұндай жүйе **абоненттік теледидар** немесе коллективті антеннасы бар теледидар деп аталды. Оны кез келген шағын отбасылық мекеме ұстай алды.

Электроникадан аздаған хабары бар кез келген кәсіпкер өз ауылында құрылғыны орната алды, оған тек қызметті төлеуге дайын клиенттер тапса жеткілікті болды. Абоненттер саны өскен сайын кабель және күшейткіш қосып отыру қажет. Тасымалдау тек біржақты: таратушыдан тұтынушыға. 1970 жылдары мыңдаған тәуелсіз жүйелер пайда болды.

1974 жылы Time корпорациясы кабельдік кино ұсынатын, «Үй билеттік кассасы» деген атпен жаңа арнаны іске қосты. Кейіннен тағы да осындай белгілі бір тақырыпқа арналған арналар пайда болды: спорттық, аспаздық, жаңалықтар және т.б. Бұл осы саладағы екі өзгеріске әкелді. Біріншіден, ірі корпорациялар қолданыстағы кабельдік жүйелерді сатып алып, жаңа клиенттерді тарту үшін өз кабелін жүргізе бастады. Екіншіден, уақыт өте жаңа кабельдік арналар енгізу үшін жүйелерді біріктіру қажеттілігі туындады, көбіне әр түрлі қалада орналасқан. Түрлі кабельдік компаниялар бірегей аймақтық және ұлттық желі құрастыру үшін өз желілерін біріктіре бастады. Дәл осы жағдай сеексен жыл бұрын телефон желілерімен де орын алған еді. Бір-бірінен оқшауланған телефон станциялары бірігіп, халықаралық қоңыраулар шалуды ұйымдастыруға мүмкіндік алды.

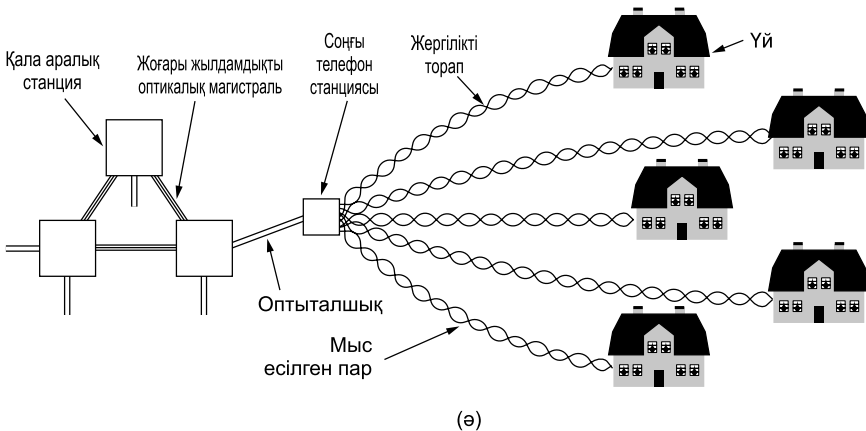
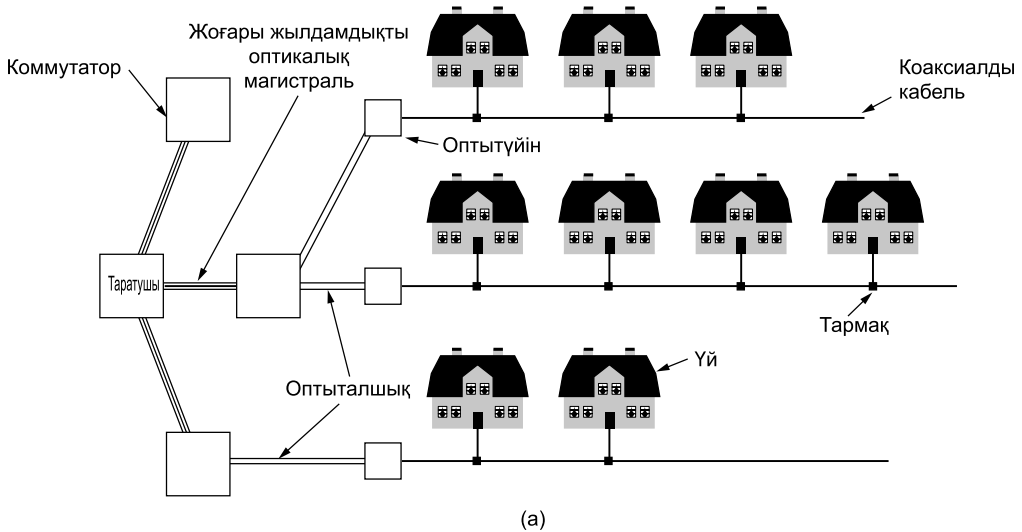
2.8.2. Кабельді Интернет

Көптеген жылдар бойы кабельдік жүйе кеңейіп, қалалар арасындағы қарапайым кабельдер өткізгіштік қабілеттілігі жоғары оптоалшықпен алмастырылды. Бұл жағдай телефон желілерінде де орын алды. Қашық магистральдарда оптоалшықты, ал сигналды үйлерге жеткізу үшін коаксиальды кабельді пайдаланатын жүйе **HFC (Hybrid Fiber Coax – аралас оптокоаксиальды кабельдік жүйе)** деген атқа ие болды. Оптикалық және электрлік бөліктер арасындағы интерфейсті жүзеге асыратын электрооптикалық түрлендіргіштер **оптотүйіндер** деп аталды. Оптикалық кабельдің өткізгіштік қабілеттілігі коаксиальдыға қарағанда әлдеқайда жоғары болғандықтан, бір оптотүйін бірнеше төмен жылдамдықты торапқа қызмет көрсете алды. Қазіргі HFC жүйесінің бөлігі *2.45 а-суретте* көрсетілген.

Соңғы кезде көптеген кабельдік желі операторлары Интернетке кіруді бастау қажет деп шешті. Сонымен бірге көбі кабельдік телефониямен де айналыса бастады. Кабельдік теледидар мен телефонияның айырмашылығы шешуге қажет инженерлік мәселені анықтады. Алдымен, деректер тасымалын екі бағытта жүргізу үшін бірбағытты күшейткіштерді екіжақты күшейткішпен алмастыру қажет. Бұл жұмыстар жүргізіліп жатқан кезде ертедегі кабельдік Интернет тұтынушыға деректер жеткізу үшін кабельді теледидар желісін және кері бағытта тасымалдау үшін телефон модемін пайдаланды. Бұл ақылды айналма шешім болды, бірақ мүмкін желінің тек кішкене бөлігі ғана еді.

Алайда, HFC (*2.45 а-суретін* қараңыз) және телефон жүйесі (*2.45 ә-суретін* қараңыз) арасында тағы бір елеулі айырмашылық бар. Бұл ерекшелікті жою әлдеқайда күрделі. Бірнеше үйге бір кабель болуы мүмкін, ал жергілікті тораптың

телефон сымы әр пәтерге жеке-жеке жүргізіледі. Әңгіме кеңтаратылымды теледидар жайлы болған кезде айтарлықтай айырмашылық жоқ. Телебағдарламалардың барлығы кабель бойымен таратылады және оған 10 немесе 10 000 абонент қосылса да еш айырмашылық жоқ. Ал бір кабельді бірнеше тұтынушы Интернетке қосылу үшін пайдаланылса, онда үлкен көлемдегі файлды жазып алып жатқан бір тұтынушы өткізгіштік қабілеттіліктің едәуір бөлігін басқа тұтынушылардан тартып алады. Тұтынушылар саны неғұрлым көп болса, бәсекелестік те соғұрлым қатты болады. Телефон жүйесінде мұндай мәселе жоқ: ADSL каналы бойынша үлкен файлды тасымалдау көрші арнаның өткізгіштік қабілетіне еш әсер етпейді. Екінші жағынан, коаксиалды кабель өткізгіштік қабілеті есілген жұпқа қарағанда әлдеқайда жоғары, сондықтан егер сіздің көршілеріңіз Интернетті сирек пайдаланса сіздің жолыңыз болғаны.



2.45-сурет. Кабельдік теледидар (а); тұрақты телефон жүйесі (ә)

Бұл мәселе шешімін тапты: ұзын кабельдер тікелей оптоотүйінге жалғанатын қысқа бөліктерге бөлінді. Таратушыдан әр оптоотүйінге дейінгі аумақтағы қолжетімді өткізгіштік жолағы жеткілікті және кабельдің осы сегментінде абоненттер саны аз болғандықтан трафик басқарылымды. Әдеттегі кабель сегменті 500–2000 үйді қамтиды, алайда адамдардың көбі кабельді Интернетке қосылады, сондықтан кейде тым қысқа бөліктерге бөлу қажет болады, ал бұл қосымша оптоотүйіндердің пайда болуына әкеледі.

2.8.3. Жиілікті тарату

Егер барлық теледидар арналарын алып тастап, кабельдік инфрокұрылымды тек Интернетке қолжеткізу үшін пайдалансақ, онда бұл тұтынушылар наразылығына әкеледі. Одан бетер, көптеген қалаларда қандай да бір компания өз тарапынан осылай істеуіне тыйым салатын шектеулер бар. Демек, теледидар сигналы мен сандық деректер бір кабельде қатар жүретін әдіс табу керек болды.

Шешім жиілікті тығыздатуға негізделді. Дәстүр бойынша Солтүстік Америкадағы кабельдік теледидар 54-тен 550 МГц-ке дейінгі жиілік аралығын (тек 88-ден 108МГц аралығын алмағанда, бұл аралық FM-радиоға берілген) қамтиды. Әр арна ені, қорғаныс жолағын қоса алғанда 6МГц құрайды және бір дәстүрлі аналогтық телеарнаны немесе бірнеше сандық телеарнаны тасымалдайды. Еуропада төменгі шекара 65 МГц-пен шектелген, ал арна жолағының ені 6-8 МГц құрайды. Бұл PAL және SECAM жүйелеріне қажет өткізгіштікті ұлғайтуға мүмкіндік береді, алайда бұл айтарлықтай маңызды емес. Спектордың төменгі бөлігі пайдаланылмайды. Қазіргі заман кабельдері 550 МГц-тен жоғары, жиірек 750 МГц және одан да жоғары жиілікте жақсы жұмыс істейді. Шығыс арнасы үшін 5-42 МГц (Еуропадағыдан сәл жоғары), ал жоғары жиілікті кіріс арналары үшін пайдалануға шешім қабылданды. Кабельдік жүйедегі спектордың таратылуы 2.46-суретте көрсетілген.



2.46-сурет. Интернетке қол жеткізу үшін қолданылатын әдеттегі кабельдік теледидар жүйесіндегі жиілікті тарату

Назар аударыңыздар: теледидарлық сигнал толығымен тек бір бағытта (кіріс) жүретін болғандықтан, суретте көрсетілгендей шығыс күшейткіштерін тек 5-42 МГц диапазонында қолдануға болады, ал кіріс – 54 МГц және одан да жоғары. Сонымен, трафиктің негізгі бөлігін кабельді теледидар және кіріс интернет-арналары алатын болғандықтан, кіріс және шығыс спекторлары арасындай айтарлықтай теңгерімсіздік бар. Кабельді теледидар операторлары да, кабельді Интернетпен айналысатын компаниялар да бұл тарату жүйесіне көңілдері толды. Біз бұған дейін айтқандай, телефон компаниялары ассиметриялы DSL-қызметті жиі ұсынады, алайда олардың мұндай ұсыныс жасауға ерекше техникалық негіздері жоқ.

Күшейткіштерді жаңартқаннан басқа операторға жүйе кірісіндегі таратушы құрылғыны да жаңарту қажет. Беймәлім күшейткіш орнына провайдерге дейін жоғары жылдамдықты оптоалшықты интерфейсі бар интеллектуалды сандық есептеу құрылғысын қою керек. Кейде бұл құрылғының аты да өзгеріп отырады, таратқыш орнына оны **CMTS (Cable Modem Termination System – кабельді модемнің аяқталған құрылғысы)** деп атайды. Ары қарай мұндай маңызды жаңартудан бас тартып, әдеттегідей таратқышты таратқыш деп атайтын боламыз.

2.8.4. Кабельді модем

Интернетке қол жеткізу үшін кабельді модем қажет. Бұл екі интерфейсi бар құрылғы: бірі – компьютерге, екіншісі – кабельдік желіге. Кабельді Интернет пайда болған алғашқы жылдары байланыс операторларының өз модемі болды. Техникалық қызметті қолдау маманы бұл құрылғыны абонент үйіне орнататын. Уақыт өте ашық стандарт бәсекелестік қабілеті бар кабельді модемдер нарығын құрастырып, олардың бағасын төмендетіп, тұтынушылар санын өсіруге мүмкіндік беретіні белгілі болды. Одан бетер, кабельдік модемді әдеттегі дүкеннен сатып алып, өз бетінше орнату (тұтынушылар сымсыз қол жеткізу нүктелерін орнатқандай) маманның шығуымен байланысты үлкен шығындардан бас тартуға мүмкіндік береді.

Нәтижесінде көптеген кабельдік желілер операторы кабельдік модем стандартын құрастырып, тауарды үйлесімділікке тестілеу мақсатында CableLabs фирмасымен бірікті. Пайда болған **DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification – кабельдік интерфейс арқылы деректер тасымалдау спецификасы)** модемі операторлардың жеке меншік модемдерін толығымен алмастырды. DOCSIS 1.0 нұсқасы 1997 жылы шықты, оның артынша 2001 жылы – DOCSIS 2.0. IP-телефония тәрізді симметриялы қызметтерді жақсы қолдау үшін DOCSIS 2.0 жүктеу жылдамдығын көтерді. Стандарттың жаңа версиясы – DOCSIS 3.0 – 2006 жылы жарық көрді. Екі бағытта да жылдамдықты өсіру үшін ол үлкен өткізгіштік жолақты пайдаланады. Стандарттың Еуропалық версиясы **EuroDOCSIS** деп аталады. Алайда, стандартты кабельдік модемдерді еркін сату идеясы операторлардың барлығына бірдей ұнамайды – олар өздерінің ұстап алған клиенттеріне модемді жалға беру үшін қомақты ақша алады. Кабельдік модем шығарып, оларды

дүкендерде сататын ондаған фирма-өндірушілерді туындатқан ашық стандарт, бұл тәжірибені аяқтауға алып келе жатыр.

Модем және компьютер арасындағы интерфейс қарапайым. Әдетте бұл Ethernet немесе кей жағдайда USB. Екінші интерфейс әлдеқайда күрделі, себебі ол кабель өткізгіштік қабілеттілігін тұтынушылар арасында бөлу үшін FDM TDM және CDMA пайдаланады.

Кабельдік модемді іске қосқан кезде, жұмысқа жаңа қосылған модемдерге арнап, таратушы дүркін-дүркін жөнелтетін жүйелік параметрлер көрсетілген арнайы дестені іздеп кіріс арнасын тыңдай бастайды. Керек дестені алғаннан кейін жаңа модем, шығыс арналарының бірі арқылы өзінің іске қосылғандығы жайлы хабарлайды. Таратушы модемге кіріс және шығыс арнасын беріп жауап қайтарады. Жүктемені теңдестіру қажет болған жағдайда, таратушы арнаны бөлуді динамикалық түрде өзгертуі мүмкін.

Арнаны 8 МГц немесе 6 МГц-те пайдалану жеке тығыздау ісі. Әр кабельдік модем деректерді бір жоғарыламалы және бір төмендемелі арна немесе DOCSIS 3.0 жағдайында бірнеше арна арқылы жөнелтеді. Әдеттегі схема бойынша әр 6 МГц (немесе 8) сайын төмендетілген арнаны алып, оны QAM-64-ке немесе егер кабель сапасы жақсы болса QAM-256-ға түрлендіріп отыру керек. Қызметтік сигналдарды алып тастағанда, желінің пайдалы жүктемесі – шамамен 27 Мбит/с. QAM-256-мен желінің пайдалы жүктемесі – шамамен 39 Мбит/с. Еуропа мәндері 1/3-ке жоғары.

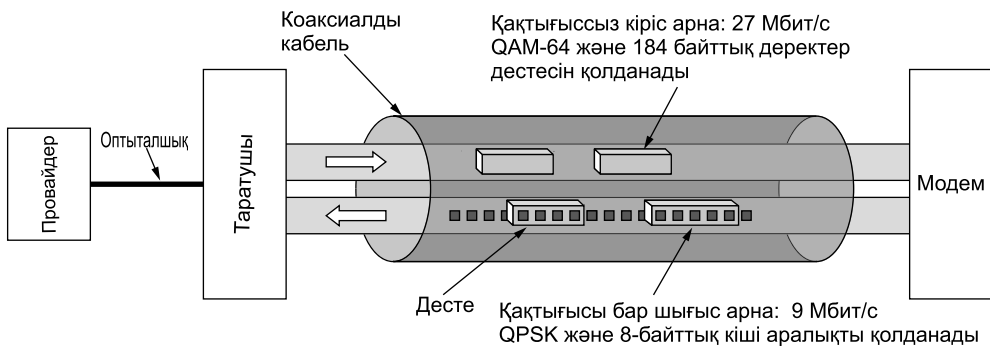
Жоғарыламалы арналар үшін радиожііліктер шуы жоғары, себебі жүйе алғашқыда деректер үшін құрастырылған жоқ, сондықтан көптеген тұтынушылар шуы таратушыға бағытталатан болғандықтан әлдеқайда консерваторлық схема қолданылады. Ол QPSK-дан QAM-128 аралығында орналасқан, мұнда кейбір символдар торлық кодтау түрлендіруімен (Треллис-модуляция) қателіктен қорғау үшін пайдаланылады. Жоғарыламалы деректер үшін символға берілетін биттер саны аз болғанда жоғарыламалы және төмендемелі арналар арасындағы жылдамдық асимметриясы *2.46-суретте* көрсетілгеннен әлдеқайда жоғары.

Өткізгіштік жолақты бірнеше тұтынушының жоғарыламалы деректеріне бірге пайдалану үшін уақытты бөліп тығыздау қолданылады. Өйтпесе олардың тасымалдауы таратушыда қақтығысар еді. Жұмыс уақыты **қысқа-слоттарға (minislots)** бөлінеді және әр түрлі тұтынушылар деректерді әр түрлі қысқа-слотта жөнелтеді. Ол үшін модем арнайы десте жөнелтіп, сол дестеге жауап неше уақытта келгенін есептеп, таратушыдан қандай қашықтықта орналасқанын анықтайды. Бұл үрдіс **қашықтықты өлшеу (ranging)** деп аталады. Модемге дұрыс синхрондалу үшін бұл деректерді білу қажет. Әр шығыс дестесі бір немесе бірнеше көршілес қысқа-слоттарға сыюы тиіс. Таратушы әр қысқа-слот айналымының басын хабарлап отырады, бұл «старт атысын» барлық модемдер бір мезгілде естімейді, себебі олар әр түрлі қашықтықта орналасқан. Өзінің қандай қашықтықта орналасқанын білетіндіктен, модем қабылданған қысқа-слот сингалының қашан жіберілгенін біле алады. Қысқа слот ұзындығы желіге байланысты. Әдетте ондағы пайдалы ақпарат ұзындығы 8 байтты құрайды.

Жана модемді инициализациялау кезінде таратушы оған жоғарыламалы арна өткізгіштік жолағына сұраныс үшін қысқа слот тағайындайды. Компьютер деректер дестесін жөнелткісі келген кезде оны модемге береді, ал модем қажет қысқа слоттар санына сұраныс береді. Егер сұраныс қабылданса, онда таратушы төмендетілген канал арқылы растау жөнелтеді. Бұдан кейін десте «өзінің» бірінші қысқа слотынан бастап жөнелтіледі. Тақырыптың арнайы өрісін пайдаланып, қосымша дестені жөнелту қажет екенін хабарлауға болады.

Әдетте, бір сұраныс қысқа-слотына бірнеше модем сәйкес келеді, бұл олардың арасында бәсекелестік туындатады. Бұл мәселені шешудің екі жолы бар. Біріншісі – тұтынушылар қысқа слотты бірлесіп пайдалану үшін, арнаны кодтық бөлу арқылы көпшілік қол жеткізуді (CDMA) қолдану. Бұл бәсекелестік мәселесін шешеді, себебі барлық тұтынушылар CDMA көмегімен деректерді төмен жылдамдықпен болса да бір мезетте жөнелте алады. Екінші мүмкіндік – CDMA-ны қолданбай, бұл жағдайда қақтығыс салдарынан сұранысты растау болмайды. Онда модем талпынысты бірнеше кездейсоқ уақыт аралығынан кейін қайталайды. Егер қайта талпыныс кезінде қақтығыс орын алса, онда кездейсоқ аралық екі еселенеді. (Желілік технологиялармен біршама таныс оқырмандар үшін: бұл ALOHA-ның тасымалдау екілік экспоненциалды шегерілген аралық тәсілі. Ethernet кабельдік интерфейс ретінде қолданылмайды, себебі станциялар торапты тыңдай алмайды. Бұл сұраққа 4-тарауда қайтып ораламыз).

Төмендемелі арналарды басқару жоғарыламалы арналарға қарағанда өзгеше. Біріншіден, бұл жағдайда жөнелтуші біреу – таратушы, сондықтан торап үшін ешқандай тартыс жоқ және шын мәнінде уақытты статистикалық тығыздаудың бір түрі болып келетін қысқа слоттар қажет емес. Екіншіден, төмендемелі канал трафигі жоғарыламалыға қарағанда әлдеқайда жоғары, сондықтан көлемі бекітілген дестелер пайдаланылады – 204 байт. Дестенің бір бөлігі Рид-Соломон қателігін түзету коды және тағы да басқа қызметтік ақпарат. Деректер дестеде 184 байт орын алады. Бұл сандар MPEG-2 пайдаланатын сандық теледидармен үйлесімдік тұрғысынан алынған болатын, сондықтан теледидар және кіріс ақпараттық канал форматы бірдей. Байланыстың логикалық құрылымы 2.47-суретте көрсетілген.



2.47-сурет. АҚШ-да қабылданған кіріс және шығыс арналарының әдеттегі схемасы

2.8.5. ADSL әлде кабель?

Қайсысы жақсы? ADSL әлде кабель? Дәл осындай табыспен қандай операциялық жүйе жақсы деп те дауласуға болады. Немесе қандай тіл? Немесе қандай дін? Жауап кімнен сұрап тұрғаныңызға байланысты. ADSL және кабельдік желіні бірнеше параметрлер бойынша салыстырып көрелік. Екі жүйеде магистральды тасымалдаушы ретінде оптоалшықты қолданады, алайда олардың соңында әр түрлі тасымалдаушытар пайдаланылады. Кабельді желіде коаксиалды кабель, ADSL – есілген жұп. Теорияда коаксиалды кабельдің өткізгіштік қабілеттілігі есілген жұпқа қарағанда жүздеген есе жоғары. Дегенмен де толық өткізгіштік қабілеттілік кабельдік жүйе тұтынушыларға қолжетімсіз, себебі өткізгіштік жолақтың үлкен бөлігі мүлдем пайдасыз заттармен қамтылған – теледидар бағдарламалары.

Іс жүзінде канал сыйымдылығының нақты тиімділігі жайлы айту өте қиын. ADSL провайдерлері қандай да бір өткізгіштік қабілеттілікті айтады (мысалы, төмендемелі канал бойынша 1 Мбит/с? Жоғарыламалы канал бойынша 256 Кбит/с), әдетте соның тек 80%-ына қол жеткізеді. Кабельдік желі провайдерлері әр тұтынушыға өткізгіштік қабілеттілікті жасанды түрде шектеуі мүмкін. Олар бұл әрекетті жұмыс сапаны алдын ала болжау үшін жасайды, бірақ оған кепілдік бере алмайды, себебі тиімді сыйымдылық дәл осы мезетте тұтынушының кабельдік сегментінде неше адамның активті жұмыс жасап отырғанына байланысты. Жылдамдық бірде ADSL-ден жоғары, бірде – төмен болады. Бұл жағдайда болжамсыздық ашуландырады. Егер қазір барлығы «ұшып» тұрса, бір минуттан кейін де осылай деуге болмайды, себебі осы мезетте аудандағы бір адам өз трафигімен сегменттің бүкіл өткізгіштік қабілеттілігін компьютерімен қоса алуы мүмкін.

ADSL-ге қосылған тұтынушылар саны өскен сайын қызмет көрсету сапасы төмендемейді, себебі әр абоненттің өз бөлінген байланысы бар. Кабельдік жүйеде сегменттің әрбір жаңа тұтынушысы жалпы қызмет көрсету сапасын төмендетеді. Тығырықтан шығудың жалғыз жолы – асыра жүктелген аумақтарды ұсақ бөліктерге бөліп, оптоалшықты кабельге тікелей жалғау. Бұл өте қымбатқа түседі, сондықтан операторлар бұндай жағдайдан бас тартуға тырысады.

Біз арнаны ортақ пайдаланатын бір жүйені қарастырғанбыз – бұл ұялы телефон жүйесі. Онда да, бір ұяшықта орналасқан тұтынушылар тобы бар. Олардың әрқайсысы өткізгіштік қабілеттіліктің бір бөлігін алады. Әдетте қолданыстағы ресурстар қатаң бөлінеді, дыбыстық трафик біркелкі болғандықтан, ол үшін жиілікті және уақытты тығыздау пайдаланылады. Алайда, деректерді тасымалдау кезінде ресурстарды қатаң бөлу тиімсіз болып шықты, себебі канал жиі мүлдем жұмыссыз тұрады, қордағы ресурстар бекер жоғалады. Кабельмен, ортақ қолданыстағы өткізгіштік қабілеттілікті тарату үшін әлдеқайда динамикалық құрал қолданылады. Осының бәріне қарамастан бұл жағдайда кабельдік жүйе тұрақты жүйеден мобильді телефонияға әлдеқайда жақын.

Қолжетімділік – бұл ADSL және кабельді желілер ерекшеленетін параметрлер. Әркімнің телефоны бар, бірақ сәйкес жүйені орнату үшін барлығы бірдей

соңғы ADSL-станциясына жақын тұрмайды. Екінші жағынан, барлығында бірдей үйде немесе ауданда кабель жоқ, бар болған жағдайда оның оплотүйіннен немесе таратушыдан қаншалықты қашық орналасқаны маңызды емес. Сонымен бірге кабельдік жүйенің кабельдік теледидардан басталғандығын айта кету керек, оларда корпаративті тұтынушылар саны өте аз.

Екі нүктелі ADSL жүйесі кабельдік желіге қарағанда әлдеқайда қорғалған болып келеді. Кабельді желінің абоненті қасынан өтіп бара жатқан кез келген дестені оқи алады. Сондықтан кабельді желінің әдепті операторы трафикті екі бағытта да шифрлеуді ұсынады.

Телефон жүйесі кабельдік жүйеге қарағанда сенімдірек. Мысалы, электр тоғы уақытша өшіп қалғанда телефон желісіне жұмыс жасауға мүмкіндік беретін қордағы қоректену жүйесі бар. Егер кабельдік желінің қандай да бір күшейткішінің қоректену бөлігі істен шықса, оның қарамағындағы тұтынушылардың барлығы байланыссыз қалады.

Соңында, ADSL провайдерлерінің саны өте көп. Кейде ол арнайы заң актілерімен тездетіледі. Бұны кабельдік желі операторлары жайлы айтуға болмайды. Мұнда таңдау жоқтың қасы.

Қорытынды мынадай: ADSL және кабельдік желінің ұқсастығы көп, айырмашылықтары аз. Олардың қызмет көрсету сапасы да салыстыруға келерлік және арадағы бәсекелестік өсуіне қарай бағалар да салыстырмалы болуы мүмкін.

Түйіндеме

Физикалық деңгей кез келген желі үшін негізгі болып саналады. Ақпарат тасымалдауыштар табиғаты барлық арналарға екі фундаменталды шектеу қояды және ол қолжетімді өткізгіштік қабілеттілікті анықтайды. Бірінші шектеу Найквист деп аталады және идеалды шусыз арналарға қатысты. Екінші шектеу, Шеннон шектеуі – шулы арналар жайлы айтады.

Деректер тасымалдау ортасы сымды және сымсыз болуы мүмкін. Негізгі сымды тасымалдау ортасы есілген жұп, коаксиалды кабель және оптоалшықты кабель болып саналады. Сымсыз ортада радио, микротолқын, ауа арқылы таралатын инфрақызыл және лазерлі сәулеленуді, сонымен бірге спутниктік байланысты айтуға болады.

Түрлендірудің сандық тәсілдері биттерді тасымалдауыштар және сымсыз орта арқылы аналогтық сигнал ретінде тасымалдайды. Сызықтық кодтар жиіліктің негізгі жолағында жұмыс істейді және сигналдар өткізгіштік жолаққа амплитуданы, жиілікті, негізгі жиілік фазасын түрлендіру арқылы орналастырылады. Тұтынушылар арналық уақытты уақытша, жиіліктік мультиплекстеу және кодтық бөлумен мультиплекстеу арқылы ортақтасып пайдаланала алады.

Барлық ауқымды желілердің негізгі элементі – телефон жүйесі. Оның негізгі компоненті – жергілікті тораптар, магистральдар және коммутаторлар. ADSL жергілікті торапты параллель жұмыс істейтін көптеген виртуалды арналарға бөлу арқылы 40 Мбит/с жылдамдықпен жұмыс істейді. Бұл телефон модемдерінің

жылдамдығынан бірнеше есе жоғары. Пассивті оптоалшық желілері ADSL-ді қолжеткізу жылдамдығынан да жоғары жылдамдыққа жету үшін талшықты үйге дейін әкеледі.

Магистральдар сандық деректерді тасымалдайды. Оларда әр түрлітығыздау әдістері қолданылады. Спекторлықтығыздау (WDM) жеке талшықта сыйымдылығы үлкен бірнеше каналды қамтамасыз етеді. Уақытша (TDM) тығыздау әр жоғары жылдамдықты байланысты тұтынушылар арасында бөледі. Каналды коммутациялау және дестелерді коммутациялау технологиялары өте маңызды.

Мобильді қолданыстар үшін әдеттегі тұрақты телефон желісі жарамайды. Қазіргі кезде ұялы телефондар дауысты тасымалдау құрылғысы ретінде кеңінен таралып келеді. Алайда оның деректер тасымалдау құрылғысы ретіндегі рөлі де өсуде. Ұялы телефон жүйелерінің бірінші буыны – 1G аналогтың болды және AMPS жүйесі басым болып келді. Екінші буын сандық, GSM стандарт жүйесі қазір әлемде кеңінен таралған. Қазір үшінші буын етек алып келеді, ол да сандық және WCDMA мен CDMA 2000 бар кеңжақтық CDMA-ға негізделген.

Кабельдік теледидар балама желілік жүйе болып саналады. Ол коаксиальды кабельден аралас оптокоаксиальды желіге, теледидардан теледидар және Интернетке дейін өзгерді. Бұл жүйенің өткізгіштік қабілеттілігі жоғары, бірақ нақты қызмет көрсету сапасы активті тұтынушылар саны мен қызметіне тәуелді.

СҰРАҚТАР

1. $f(t) = t(0 \leq t \leq 1)$ функциясы үшін Фурье коэффициентін есептеңіз.
2. Өткізгіштік қабілеті 4 кГц шусыз канал арқылы әр 1 мкс сайын санау сигналы беріліп отырады. Деректер тасымалдаудың ең үлкен жылдамдығы қандай болады? Егер каналда шу болған жағдайда деректер тасымалдау жылдамдығы қалай өгереді? Шудың сигналға қатынасы 30 дБ.
3. Теледидар арналарының ені 6 МГц құрайды. Төрт сатысы сандық сигналды пайдаланған кезде осындай канал арқылы секундына неше бит жөнелтуге болады? Арнада шу жоқ деп есептейміз.
4. Өткізгіштік жолағы 3 кГц және сигнал/шу қатынасы 20 дБ арна арқылы екілік сигнал жөнелткенде деректер тасымалдау жылдамдығы қандай болады?
5. Өткізгіштік жолағы 50 кГц торапты T1 арнасы ретінде пайдалану үшін сигнал/шу қатынасы қандай болу керек?
6. Тасымалдау ортасы ретінде оптикалық талшықтың қоламен салыстырғандағы артықшылығы қандай? Қола орнына оптикалық талшықты қолданғанның кері жағы бар ма?
7. Ұзындығы 1 мкм толқын үшін 0,1 мкм спектор жолағының өткізгіштік қабілеті қандай?
8. Компьютер экранының бейнелер тізбегін оптоалшықты кабель арқылы жөнелту қажет. Экран мөлшері 2560x1600 пиксель. Әр пиксель 24 бит. Секундына 60 экран жөнелту керек. Бұл үшін қандай өткізгіштік қабілеттілік қажет,

сонымен бірге тасымалдау ұзындығы 1,30 микрон толқынмен жөнелтіледі деген шарт қойылса, спектордың қандай бөлігі (микронмен) қолданылады?

9. Жоғары сапалы бірмодалы оптоалшықты кабель үшін Найквист теоремасы ақиқат па, әлде тек қола сым үшін бе?
10. Радиоантенналар әдетте антенна мөлшері радиосигнал толқынының ұзындығына тең болғанда жақсы жұмыс жасайды. Антенна диаметрі 1 см-ден 5 метрге дейін өзгеруі мүмкін. Бұл қандай жиілік диапазонына сәйкес келеді?
11. Диаметрі 1 мм лазерлік сәуле 100 м қашықтықта орналасқан ғимарат төбесіндегі, диаметрі 1 мм детекторға бағытталған. Лазерлік сәуле детекторға дәл түсу үшін қандай бұрышқа бұрылуы керек?
12. Iridium жобасының 66 төмен орбиталық спутниктері Жер айналасында алты моншақ құрайды. Олардың айналу периоды 90 минут. Жерде орналасқан тасымалдаушы деректер жөнелту үшін орташа аралық қандай болуы керек (handoff)?
13. GEO (биіктігі 35 800 км), MEO (биіктігі 18 000 км) және LEO (биіктігі 750 км) спутниктері үшін дестені жөнелтуге қажет жалпы уақытты есептеңіз.
14. Солтүстік полюстен Iridium спутнигі арқылы жөнелтілген қоңырау Оңтүстік полюске жету үшін күту уақыты қандай болады? Спутниктегі коммутациялау уақыты 10 мкс және жер радиусы 6371 км деп болжаңыз.
15. Сигнал NRZ, MLT-3 және манчестерлік кодтау арқылы жөнелтілген болса, тасымалдау жылдамдығын В бит/с жеткізу үшін қандай ең кіші өткізгіштік жолақ қажет? Жауабыңызды түсіндіріңіз.
16. 4В/5В кодтауында сигнал алмасуы кем дегенде әр төрт бит сайын орын алатынын дәлелдеңіз?
17. 1984 жылға дейін, әр станцияға қол жеткізу аймақтың үш таңбалы коды және жергілікті нөмірдің үш цифр арқылы жүргізілгенде телефон станцияларының неше аяқталған коды болды? Аймақ кодтары 2-9 диапазоны аралығындағы бір цифрдан басталатын, екіншісі үнемі 1 немесе 0, ал үшінші цифр кез келген болуы мүмкін. Жергілікті нөмірдің алғашқы екі цифры 2-9 диапазоны аралығында болды; үшінші цифр кез келген болуы мүмкін.
18. Қарапайым телефон жүйесі бір қала аралық коммутатордан және онымен өткізгіштік жолағы 1 МГц дуплексті кабельмен байланысқан екі соңғы коммутатордан тұрады. Бір сегіз сағаттық жұмыс күнінде бір телефоннан орта шамамен 4 қоңырау шалынады. Бір қоңырау шалу кезіндегі әңгімелесудің орташа ұзақтығы 6 мин құрайды. Қоңыраулардың 10 пайызы қалааралық болып келеді (демек қала аралық коммутатор арқылы өтеді). Соңғы коммутатор қолдай алатын телефондардың ең үлкен саны қандай? (бір каналға 4 кГц болжаймыз) Не себептен телефон компаниясы соңғы коммутатор қолдай алатын ең үлкен саннан аз телефон қолдайтынын түсіндіріңіз?
19. Жергілікті телефон компаниясының 10 млн абоненті бар. Барлық телефондар мыс есілген пары бар орталық коммутаторға қосылған. Есілген пардың орташа ұзындығы 10 км. Жергілікті телефон торабындағы мыс неше тұрады? Сым дөңгелек және диаметрі 1 мм деп болжаңыз. Мыстың тығыздығы $9,0 \text{ г/см}^3$, ал бағасы – киллограммы 6 доллар.

20. Мұнай торабы қандай жүйе болып саналады – симплексті, жартылай дуплексті, дуплексті немесе бұл жіктеуге мүлдем сәйкес келмейді? Өзен жайлы не айтуға болады немесе walkie-talkie байланысы жайлы?
21. Қуатты микропроцессорлардың бағасының түскені соншалық енді оларды кез келген модемге орнатуға болады. Бұл телефон торабындағы қателікті өңдеуге қалай әсер етті? Бұл қателіктерді 2 деңгейде анықтап, өңдеу қажет екендігін жоққа шығара ма?
22. *2.19-суретте* бейнеленген модемнің амплитуда фазалық диаграммасы координатасы келесідей нүктелерден тұрады: (1, 1), (1, -1), (-1, 1) және (-1, -1). Осындай модем 1200 бод жылдамдықпен секундына неше бит тасымалдай алады?
23. Екілік тасымалдау жылдамдығы (бодпен) 1200 болса және қателіктерді түзету қолданылмаса, стандартты V.32 модемінде қол жеткізуге болатын биттерді тасымалдаудың ең үлкен жылдамдығы қандай?
24. Жартылай дуплексті QAM-64 түрлендіруі бар модем неше жиілік қолданады?
25. Әрқайсысына 4000 МГц жолақ қажет он сигнал жиілік тығыздауы (FDM) бар бір каналға мультиплекстенеді. Арнаны тығыздатудың ең кіші жолағы қандай болу керек? Қорғаныс аралығының енін 400 Гц деп санаймыз.
26. Импульсты-кодтық түрлендірудің дискреттеу периоды неліктен 125 мкс деп алынған?
27. T1 арнасындағы 1,544 Мбит/с өткізгіштік қабілеттіліктің неше пайызы соңғы тұтынушыға қол жетімсіз немесе үстеме шығын пайызы қандай? Бұл OC-1 және OC-768 арналары пайызымен қандай қатынаста?
28. Өткізгіштік жолағы 4 кГц шусыз арнаның ең үлкен өткізгіштік қабілетін: а) есептеуге екі биті бар аналотық кодтауы; ә) T1 жүйесін импульсты-кодтық түрлендірумен салыстырыңыз.
29. Синхрондауды жоғалтқан кезде T1 жүйесі әр кадрдың бірінші битімен оны қалпына келтіруге тырысады. Қателік ықтималдығы 0,001 болғанда синхрондауды қалпына келтіру үшін неше кадр зерттелуі тиіс?
30. Модемнің қайта түрлендіру бөлігі мен кодектің кодтау бөлігі арасында айырмашылық бар ма? Бар болса қандай? (Екеуі де аналогтық сигналды сандық сигналға түрлендіреді)
31. SONET желісінде жүйелік сағат дәлдігі 10⁻⁹ құрайды. Сағаттың бір орнында қалқуы (дрейф) 1 бит болу үшін неше уақыт керек? Бұл есептеудің іс жүзіндегі салдары бар ма? Қандай?
32. Көлемі 1 Гбайт файлды бір VSAT-те екіншісіне *2.14-суреттегі* концентратор көмегімен жөнелту үшін неше уақыт керек? Жер – спутник бағытындағы жұмыс жылдамдығы 1 Мбит/с деп болжаңыз, спутник – Жер бағытында 7 Мбит/с және арнаны баптау уақыты 1,2 с арна коммутациялау қолданылады.
33. Алдыңғы есепте дестені коммутациялау қолданылған жағдайдағы тасымалдау уақытын есептеңіз. Десте көлемі 64 Кбайт деп алыңыз, спутник және концентратор кідірісі 10 мкс, десте тақырыбы 32 байт құрайды.
34. 2.5-кестесіндегі OC-3 каналын тұтынушының жылдамдығы 148,608 мбит/с құрайды. Бұл санды SONET жүйесінің OC-3 каналы параметрінен қалай

- алуға болатынын көрсетіңіз. Жалпы саны, SPE және OC-3072 торабы тұтынушыларының деректер тасымалдау жылдамдығы қандай болады?
35. STS-1-ден деректер тасымалдаудан төмен жылдамдықпен жұмыс жасау үшін SONET-тің виртуалды келісу жүйесі бар (VT). Бұл пайдалы жүктеме бөлігі. Ол STS-1 кадрына енгізіліп, пайдалы жүктеменің басқа бөлігімен араласып, бүкіл кадрды толтырады. Мысалы, VT1.5STS-1 кадрының үш бағанасын, VT2– 4, VT3 – 6, VT6 – 12 бағанасын пайдаланады. VT-ның қандай түрлері жылдамдықты келесі жүйелермен келістіруге көмектесе алады:
- 1) DS-1 қызметі (1,544 Мбит/с);
 - 2) Еуропаның CEPT-1 қызметі (2,048 Мбит/с);
 - 3) DS-2 қызметі (6,312 Мбит/с).
36. OC-12с каналында тұтынушыға қолжетімді өткізгіштік жолағы қандай?
37. Дестелерді коммутациялаумен жұмыс жасайтын үш желінің әрқайсысы n түйіннен тұрады. Бірінші желі топологиясы – орталық коммутаторы бар жұлдыз, екіншісінікі екі бағытталған сақина, ал үшіншісінде барлық түйіндер бір-бірімен жалғанған. Секіріс кезінде әр желі түйіндерінің арасындағы ең кіші, орташа және ең үлкен арақашықтық қандай болады?
38. Арналар коммутациялауымен жұмыс жасайтын желімен k секірістен тұратын жол арқылы ұзындығы x бит мәлімдеме жөнелткендегі кідірісті дестелерді коммутациялаумен жұмыс жасайтын желі (аз жүктелген) кідірісімен салыстырыңыз. Арнаны орнату уақыты s секундты құрайды, сигналдың таралу кідірісі бір секіріске d секунд, десте мөлшері p бит, деректерді тасымалдау жылдамдығы b бит/с құрайды. Қандай жағдайда дестелерді коммутациялауы бар желіде кідіріс уақыттың мәні ең кіші болады? Қандай жағдайда арнаны коммутациялаумен жұмыс жасайтын желіден гөрі дестелерді коммутациялаумен жұмыс жасайтын желіні таңдаған дұрыс екенін түсіндіріңіз.
39. Айталық, тұтынушының x бит деректері k секірістен тұратын жолмен, дестелерді коммутациялаумен жұмыс жасайтын желі арқылы дестелер сериясы ретінде жөнелтілді. Әр десте сериясы p бит деректерден және h бит тақырыптан ($x \gg p + h$) тұрады. Тораптың тасымалдау жылдамдығы b бит/с, ал сигналдың таралу кідірісін есепке алмауға болады. Қорытынды кідіріс мәні аз болу үшін p мәні қандай болу керек?
40. Әдеттегі ұяшықтары алтыбұрышты ұялы телефон жүйесінде көршілес ұяшықтарда бірдей жиілік диапазонын пайдалануға тыйым салынған. Егер 840 жиілік қолжетімді болса, оның нешеуін бір ұяшықта пайдалануға болады?
41. 2.39-суретте көрсетілгендей формасы дұрыс нақты ұяшықтар жиынтығы сирек кездеседі. Тіпті, жеке ұяшықтың формасы да дұрыс болып келмейді. Осы құбылыс жайлы өз болжамыңызды айтыңыз. Осындай дұрыс емес форма әр ұяшыққа тағайындалатын жиілікке қалай әсер етеді?
42. Сан-Францисконы (120 м²) толық қамту үшін диаметрі 100 м PCS жүйесінің неше микроұяшығы қажет болады?
43. Ұялық телефон жүйесінің тұтынушысы ұялар арасындағы шекарасынан өткен кезде, барлық қабылдағыштар мен жөнелткіштердің қалыпты жұмыс істегеніне қарамастан кей жағдайда әңгіме үзіліп қалады. Неліктен?

44. А, В және С 2.24 *а-суретінде* көрсетілгендей, бірізгіде CDMA және элементар тізбектерді пайдаланып, нөлдік биттер жөнелтті делік. Нәтижелік элементар тізбек қандай болады?
45. CDMA элементар тізбектерінің ортогональдық қасиетіне қатысты тағы бір амалды қарастырайық. Екі жұп тізбектегі әр бит сәйкес келуі немесе келмеуі мүмкін. Пар биттердің ортогональдық қасиетін сәйкестік және сәйкессіздігін терминдері арқылы айтып беріңіз.
46. CDMA қабылдағышы $(-1 + 1 - 3 + 1 - 1 - 3 + 1 + 1)$ элементар тізбегін алды делік. Бастапқы тізбектер 2.24 *ә-суретінде* көрсетілгендей деп алып, қай станцияның және қандай сигнал жөнелткенін анықтаңыз.
47. 2.24-*суретте* ОС-3 үшін тұтынушы өткізгіштік қабілеті 148 608 Мбит/с құрайды. Осы мәнді SONET ОС-3 параметрінен қалай есептеуге болатынын көрсетіңіз.
48. Телефон жүйесінің соңғы коммутаторды абонент телефонымен байланыстыратын бөлігінің топологиясы жұлдызды құрайды. Кабельдік теледидар керісінше, бір жергілікті аумақтағы барлық үйді байланыстыратын тұтас ұзын кабельден тұрады. Айталық, болашақ кабельдік теледидарында мыс кабель орнына өткізгіштік қабілеті 10 Гбит/с оптоалшық қолданылады. Осындай торап телефон торабының жұмысын атқарып, әр абонентті соңғы коммутаторға дейін жеке тораппен қамтамасыз ете ала ма? Егер қамтамасыз ете алса, онда бір кабельге неше телефон қосуға болады?
49. Кабельдік желі операторы 5000 үй орналасқан ауданда Интернетке қол жеткізуге мүмкіндік береді. Компания коаксиалды кабельді пайдаланады және спекторды ағынның төмендемелі өткізгіштік жолағы әр кабель үшін 100 Мбит/с құрайтындай етіп таратады. Клиенттерді тарту үшін компания әр үйге 2 Мбит/с төмендемелі трафик кез келген уақытта қолжетімді болады деп хабарландыру берді. Компания өз сөзінде тұру үшін не істеу керек екенін сипаттаңыз.
50. 2.46-*суретте* көрсетілген спекторды тарату, сонымен бірге мәтінде берілген ақпаратты пайдаланып, кабельдік жүйеде төмендемелі және жоғарыламалы каналға секундына неше мегабит бөлінетінін санаңыз.
51. Кабельдік жүйе тұтынушысы қалған барлық тұтынушылар пассивті болған кезде деректерді қандай жылдамдықпен қабылдай алады? Тұтынушы интерфейсінің төмендегідей нұсқаларын қарастырыңыз:
- 1) 10 Мбит/с, Ethernet;
 - 2) 100 Мбит/с, Ethernet;
 - 3) Сымсыз байланыс, 54 Мбит/с.
52. STS-1 деректер ағынын мультиплекстеу SONET-те маңызды рөл атқарады. 3:1 мультиплексоры STS-1-дің үш кіріс ағынын бір STS-3 шығыс ағынына тығыздайды. Тығыздау әр байтпен орындалады, демек алғашқы үш шығыс байты сәйкесінше 1, 2 және 3 кіріс ағындарының бірінші байтына сәйкес келеді. Келесі үш байт – 1, 2 және 3 кіріс ағындарының екінші байтына және т.с.с. 3:1 мультиплексорының жұмысын симуляциялайтын программа жазыңыз. Программада 5 үрдіс болуы керек. Негізгі үрдіс қалған төрт үрдісті құрастырады

(үш кіріс ағыны және мультиплексор үшін). Кіріс ағынының әр үрдісі STS-1 кадрына деректерді файлдан 810 байттан тұратын тізбек түрінде оқиды. Одан кейін байттар мультиплексор үрдісіне жөнелтіледі. Мультиплексор ағындарды қабылдап, нәтижелік STS-3 кадрын (тағы да байтпен), стандартты шығару құрылғысына жазып шығарады. Үрдістер арасында әрекеттесу үшін конвейер (pipes) тәсілін пайдаланыңыз.

53. CDMA жүзеге асыру программасын жазыңыз. Элементар тізбектің ұзындығы 8-ге тең және тасымалдаушы станциялар саны 4 деп болжаңыз. Сіздің программаңыз үш үрдістер жиынтығынан тұрады: төрт жөнелтуші үрдісі (t_0 , t_1 , t_2 және t_3), бір байланыстырушы үрдіс және төрт қабылдаушы үрдісі (r_0 , r_1 , r_2 және r_3). Дәл байланыстырушы үрдіс тәрізді жұмыс жасайтын негізгі программа алдымен стандартты енгізуден төрт элементар тізбекті (биполярылық жазба) және 4 биттен тұратын тізбекті (жөнелтілетін жөнелтуші үрдісіне 1 биттен) оқып, жөнелтуші және қабылдаушының төрт жұп үрдісін туындатады. Жөнелтуші/қабылдаушының әр жұп үрдісіне (t_0 , r_0 ; t_1 , r_1 ; t_2 , r_2 ; t_3 , r_3) бір элементар тізбек сәйкес келеді және жөнелтушінің әр үрдісіне 1 бит тағайындалады (бірінші бит – t_0 , екінші – t_1 және т.с.с.). Содан кейін жөнелтушінің әр үрдісі жөнелтілетін сигналды есептеп (8 биттен тұратын тізбек) оны байланыстырушы үрдіске жібереді. Жөнелтушінің барлық төрт үрдісінен сигнал қабылданғаннан кейін байланыстырушы үрдіс сигналдарды араластырып, біріккен битті қабылдаушының төрт үрдісіне жібереді. Қабылдаушының әр үрдісі қабылданған битті есептеп, оны стандартты шығару құрылғысы арқылы басып шығарады. Үрдістер арасында әрекеттесу үшін конвейер (pipes) тәсілін пайдаланыңыз.

3

АРНАЛЫҚ ДЕҢГЕЙ

Бұл бөлімде моделіміздің екінші деңгейі арналық деңгейдің (кейде деректерді тасымал деңгейі деп те атайды) құрылым қағидаларын қарастырып, кадр (жеке биттерді тасымалдау қызметіндегі физикалық деңгеймен салыстырыңыз) деп аталатын екі компьютер арасында ақпараттар блогының сенімді және тиімді жеткізуді қамтамасыз ететін алгоритмдерін талқылаймыз. Сонымен қатар, физикалық тұрғыдан байланыстың арналық түрімен байланысып, сым секілді (мысалы, коаксиальді кабель, телефон желісі немесе сымсыз арна) әрекет ететін екі машинаны қарастырамыз. Арнаны сымға ұқсататын негізгі қасиеті, биттердің жіберілген реттілігі бойынша қабылдануында.

Бастапқыда берілген мәселе тым қарапайым көрінуі мүмкін: А машинасы арнаға биттерді жібереді, ал В машинасы арнадан шығарып алады. Өкінішке орай, байланыс арналарында кей кезде деректерді тасымалдауда қателіктер туындайды. Одан басқа деректерді тасымал жылдамдығы шектеулі, ал сигналды тарату уақыты нөлден бастап өзгереді. Осы шектеулердің барлығы деректерді тиімді тасымалдауға кері әсер етеді. Байланыс хаттамалары аталған факторларды қарастыруға тиіс. Бұл бөлім аталған хаттамаларға арналған.

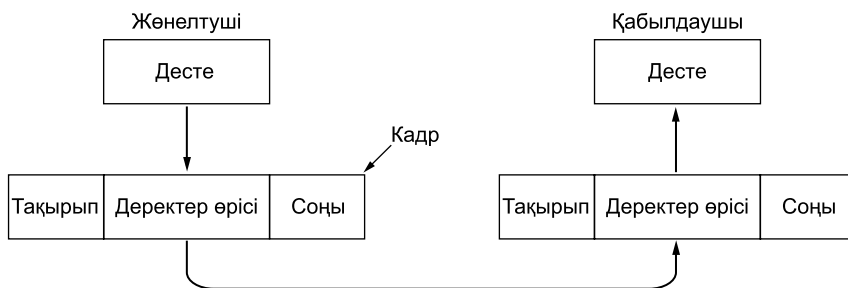
Арналық деңгей құралдарының негізгі аспектілерімен танысқаннан соң, хаттамаларды және қателердің қасиетін, оларды табу және жөндеу әдістерін қарастырамыз. Әрі қарай қарапайым хаттамадан күрделіге дейінгі хаттамаларды талқылаймыз. Әрбір келесі хаттама арналық деңгейдің күрделірек мәселелерін шешетін болады. Соңында арналық деңгейде деректерді жеткізу хаттамаларының мысалдарын көрсетеміз.

3.1 АРНАЛЫҚ ДЕҢГЕЙДІҢ ҰЙЫМДАСТЫРЫЛУЫНДАҒЫ НЕГІЗГІ АСПЕКТІЛЕР

Арналық деңгей физикалық деңгейдің қатынас арнасы арқылы биттерді жіберу мен қабылдаудың белгілі қызметтерін қолданады. Арналық деңгейдің өзіндік міндеттері бар:

- желілік деңгейді сызылған қызметтік интерфейспен қамтамасыз ету;
- деректерді жеткізу қателерін жөндеу;
- жылдам жіберушісі бар баяу қабылдаушының деректер жиынын басқару.

Осы мақсатта арналық деңгей желілік деңгейден алынған дестелерді арнайы тасымалдау кадрларына (фрейм-frame деп аталатын) салады. Әр кадр тақырыптан, дерек жиыны және түйіннен тұрады. Кадрдың құрылысы *3.1-суретте* көрсетілген. Кадрларды басқару арналық деңгейдің негізгі міндеті. Келесі тарауларда жоғарыда көрсетілген мәселерді толығырақ үйренеміз.



3.1-сурет. Десте мен кадр арасындағы байланыс

Бұл тарау арналық деңгей және хаттамаларын толығырақ қарастыруға арналғанына қарамастан, қателіктер мен жиындарды қадағалау сынды сұрақтар тасымал деңгейі мен хаттамаларына қатысты болып табылады. Сенімділікпен қамтамасыз ету барлық деңгейлердің бірігіп жұмыс істейтін негізгі мақсаты. Анығында, барлық желілерде бұл міндеттер жоғары деңгейлерден құзыретті және қарапайым міндеттер атқаратын арналық деңгейге қатысты емес. Бір жағынан бұл аса маңызды емес, өйткені бұл қағидалар бәрібір өзгеріссіз қалады. Арналық деңгейде қарастырылуының басты артықшылығы олардың ең қарапайым түрде ұсынылуында және жеке дара көрсетілуінің жеңілдігінде.

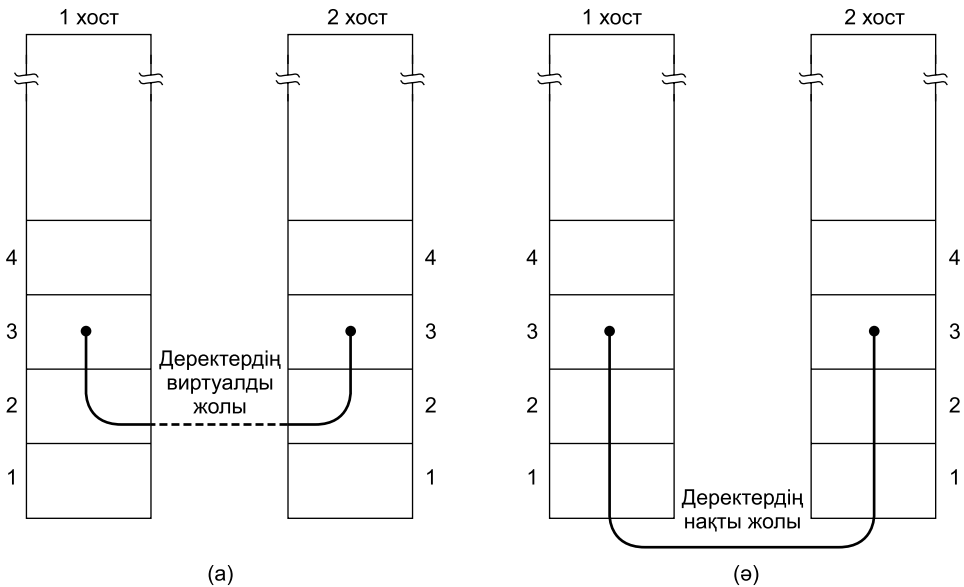
3.1.1. Желілік деңгейге көрсетілетін қызметтер

Арналық деңгейдің негізгі міндеті – желілік деңгейге қызмет көрсету. Негізгі қызмет жіберушінің желілік деңгейінен қабылдаушының желілік деңгейіне деректерді тасымалдау. Жіберуші машинасында желілік жүйеден биттерді бағыты

бойынша жеткізетін процесстер жұмыс жасайды. Арналық деңгейдің жұмысы биттерді қабылдаушы машина арқылы қабылдаушының желілік деңгейіне 3.2 а-суретте көрсетілгендей жеткізу болып табылады. Шындығында, деректер 3.2 ә-суреттегі жолдар арқылы жеткізіледі, бірақ жеткізу хаттамалары арқылы байланысқан екі желілік арналарды елестету оңайырақ. Осы себептен, тарау барысында 3.2 а-суреттегі модель қолданылатын болады.

Арналық деңгей әр түрлі қызметтер ұсынады. Олардың жиынтығы әр хаттамада әркелкі болуы мүмкін. Біз қарастыратын нұсқалар келесідей:

1. Растаусыз байланыс құрмайтын қызмет;
2. Растамалы бірақ байланыс құрмайтын қызмет;
3. Растамалы және байланыс құруға бағытталған қызмет.



3.2-сурет. Виртуалдық байланыс (а); Шынайы байланыс (ә)

Растаусыз және байланыс құрмайтын қызмет жіберуші машинаның тәуелсіз кадрларды қабылдаушы машинаға жіберуіне және қабылдаушының кадрларды қабылдағандығын растамауы негізіне құрылған. Мұндай арналық деңгейдің көрінісіне Ethernet мысал болады. Уақытынан бұрын ешқандай байланыс орнатылмайды және кадрларды жеткізгеннен соң ажырамайды. Егер желідегі шу әсерінен кадрлар жоғалып кетсе, арналық деңгей қалпына келтіру үшін еш әрекет жасамайды. Қызметтің бұл түрі қателердің деңгейі аз болғанда қолайлы. Мұндай жағдайда деректерді жеткізудегі қайта қалпына келтіру мәселесі жоғарғы деңгейлерге қалдырылады. Сонымен қатар, шынайы уақыттағы желі байланысы, үлкен кешігуден гөрі бұзылған деректерді алатын сөздерді жеткізуде қолданылады.

Сенімділікті арттырудағы келесі қадам – растамалы бірақ байланыс құрмайтын

қызмет. Қолдану барысында байланыс орнатылмайды, бірақ әр кадрдың жеткізілгендігі расталады. Осылайша жіберуші кадрлардың аталған бағытқа толық жеткен-жетпегендігін біледі. Егер белгіленген уақытта растама келмесе, кадрлар қайта жіберіледі. Мұндай қызмет сымсыз жүйелер сияқты үлкен мүмкіндікте қателіктер болатын жүйелерде қолданылады. 802. 11(WiFi) мысал ретінде атасақ болады.

Растау мүмкіндігін беру талаптан гөрі оңтайландыру екендігін атап кеткен жөн. Желілік деңгей әрдайым өшірілген машинаға жеткізілгендігін растайтын десте жібере алады. Егер белгіленген уақытта растама келмесе, хабарламаны қайта жіберуге болады. Бұл стратегияны қолданудың негізгі мәселесі – тиімсіздігінде. Кадрлар негізінен аппараттық талаптарға сәйкес шектеулі ұзындыққа, сонымен қатар белгілі бір жеткізуге кеткен кешігу уақытына ие. Желілік деңгейде бұл параметрлер белгісіз. Желілік жүйе, айталық, хабарламаны 10 кадрға бөлуі мүмкін. Орта есеппен оның екеуі жолай жоғалады. Хабарламаны мұндай әдіспен жеткізу көп уақыт алады. Егер бөлек кадрлардың растамасын алатын болсақ, қателерді бірден және жылдам жөндеу мүмкіндігі болады. Оптикалық талшық кабельдері сияқты сенімді арналарда растауға кететін үстеме шығын арналық деңгейде арнаның өткізгіштік қабілетін кемітеді, бірақ сымсыз байланыста (табиғаты бойынша сенімсіз) мұндай шығындар өз орнын толтырады және ұзын хабарламаларды жеткізу уақытын қысқартады.

Арналық деңгейдің ұсынатын ең күрделі қызметі – байланыс құруға бағытталған растамалы қызмет болып табылады. Бұл әдісті пайдалану барысында жіберуші мен қабылдаушы бір-біріне деректер жібермес бұрын, байланыс орнатады. Жіберілетін әр кадр нөмірленеді, ал арналық деңгей арналық байланыстың екінші жағында жіберілген кадрлардың жеткізілгендігіне кепілдік береді. Сонымен қатар, әр кадр бір рет және белгіленген реттілікпен қабылдануы кепілденеді. Осылайша байланысқа бағытталған қызмет желілік деңгейдің үрдістеріне биттердің сенімді ағынының баламасын ұсынады. Бұл спутникті канал қалааралық телефон байланысы сияқты ұзын сенімсіз байланыстарда қолайлы. Байланыс орнатпайтын қызметте растау жоғалған жағдайда бір кадр бірнеше рет жіберіліп, қабылдануы мүмкін. Бұл арнаға артық жүк және өткізгіштікке артық шығын дегенді білдіреді.

Байланысқа бағытталған деректерді жеткізу қызметі 3 кезеңнен тұрады. Бірінші кезеңде байланыс орнатылады және екі жақта қай кадрдың қабылданып-қабылданбағандығын бақылайтын айнымалылар мен есептегіштерді бастапқы мәніне орнатады. Екінші кезеңде кадрлар жеткізіледі. Ал соңғы үшінші кезеңде байланыс ажыратылады және байланыс кезінде қолданылған айнымалылар, буферлер мен басқа да ресурстар босатылады.

3.1.2. Кадрлардың құрылуы

Желілік деңгейге қызмет көрсету үшін арналық деңгей физикалық деңгейдің қызметтерін қолдануға тиіс. Физикалық деңгей өңделген биттер жүйесін

бағытына сәйкес жіберуге тырысады. Егер канал сымсыз және көптеген сымды байланыстағыдай шуға толы болса, физикалық деңгейде қосымша сигналдар мүмкін болған деңгейге қателерді азайту үшін қосылады. Бірақ деректерді тасымалдау деңгейіндегі биттер жиынтығы қателіктен кепілденбеген. Кейбір биттердің мәні басқаша немесе қабылданған бит саны жіберілгеннен кем, тең не артық болуы мүмкін. Арналық деңгей қателерді анықтап, мүмкіндігінше жөндеуге тиіс.

Көп жағдайда арналық деңгей биттердің ағынын жеке кадрларға бөліп, әр кадрға бақылау сомасы деп аталатын қысқа белгілеулерді есептейді. Бақылау сомасы кадр жіберілместен бұрын кадрға қосылады (бақылау сомасының алгоритмдері осы тараудың төменгі бөлімінде талқыланады). Кадр қажетті бағытқа жеткенде, бақылау сомасы қайта есептеледі. Егер есеп барысында кадрдың құрамында өзгешеліктер табылса, арналық деңгей деректерді жеткізу барысында қателердің болғанын түсініп, іс-шаралар қолданады (мысалы, бұзылған кадрды есепке алмай, қателік жөнінде хабарлама жібереді).

Биттер ағынының жеке кадрларға бөлу бірінші көзқарасқа қарағанда қиын тапсырма туындатады. Жақсы жүйеде қабылдаушы оңайлықпен жаңа кадрлардың белгілеушісін өтімділіктің тілкемін аз күш жұмсап, таба алады. Кадр шекарасын белгілеудің 4 әдісін қарастырамыз:

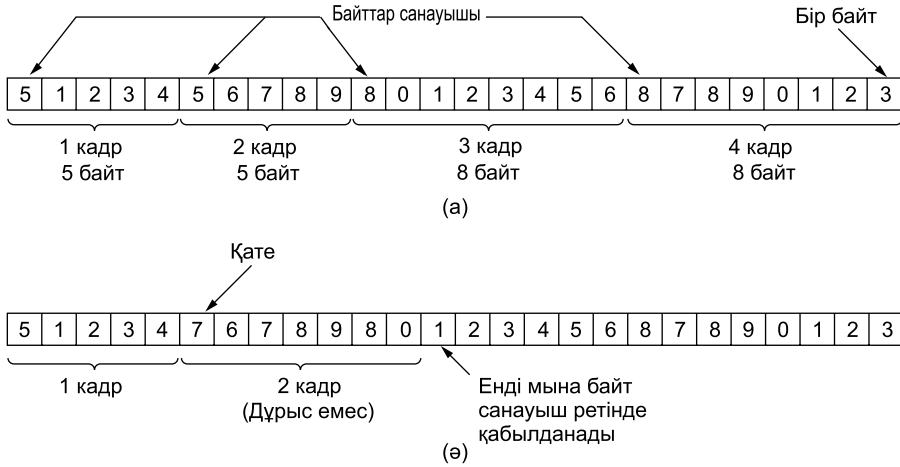
1. Байттың санын санау;
2. Символдық толтыру арқылы сигналдық байттарды қолдану;
3. Биттік толтыру арқылы сигналдық биттерді қолдану;
4. Физикалық деңгейдің тыйым салынған сигналдарын қолдану.

Кадрлардың құрылуының бірінші әдісінде кадрдағы байттардың санын тақырыптағы алаңда көрсетілу қолданылады. Қабылдаушы компьютердің арналық деңгейі алаңды көргенде, қанша байттың келетіндігін байқап, кадрдың соңының қайда екендігін анықтайды. Бұл қабылдау *3.3 а-суретте* 5,5,8 және 8 байттық төрт кіші кадрлар арқылы бейнеленген.

Бұл жүйенің әлсіздігі есептегіштің жіберу барысында бұрмалану мүмкіндігінде. Мысалы, егер екінші 5-тік кадрдың көлемі қателікпен *3.3 а-суретте* көрсетілгендей жеке битінде 7 санына айналса, қабылдаушы машина үйлесімділікті жоғалтады және келесі кадрдың басталуын дұрыс анықтай алмайды. Бақылау сомасы сәйкес келмегеннің өзінде (көп жағдайда) қабылдаушы компьютер кадрлардың қате қабылғандығын түсіне алмай, келесі кадрдың басы қайда екендігін анықтай алмайды. Кадрларды қайта жіберуді сұрау да пайдасыз, өйткені жіберуші компьютер қайта жіберу үшін қанша байтты өткізу керектігін білмейді. Осы себептен байт санын санау әдісі жеке дара қолданылмайды.

Кадрларды құрудың екінші әдісі жаңылыстан соң қайта қалпына келтірілетін кадрдың басына және соңына арнайы байттар мен белгілеу арқылы мәселелерді шешеді. Айыру байты есебінде **флаг** деп аталатын бір байт қолданылады. Ол кадрдың басына және соңына орнатылады. Бұл байт *3.4 а-суретте* FLAG деп белгіленген. Екі көрші флаг байты бір кадрдың бітіп, екінші кадрдың басталғандығын көрсетеді. Егер қабылдаушы үйлесімділікті жоғалтса, оған

ағымдағы кадрдың соңы мен келесі кадрдың басын табу үшін жай ғана қатар тұрған екі флагтық байтты табу қажет.



3.3-сурет. Байттар ағыны: қатесіз (а); бір қатемен (ә)

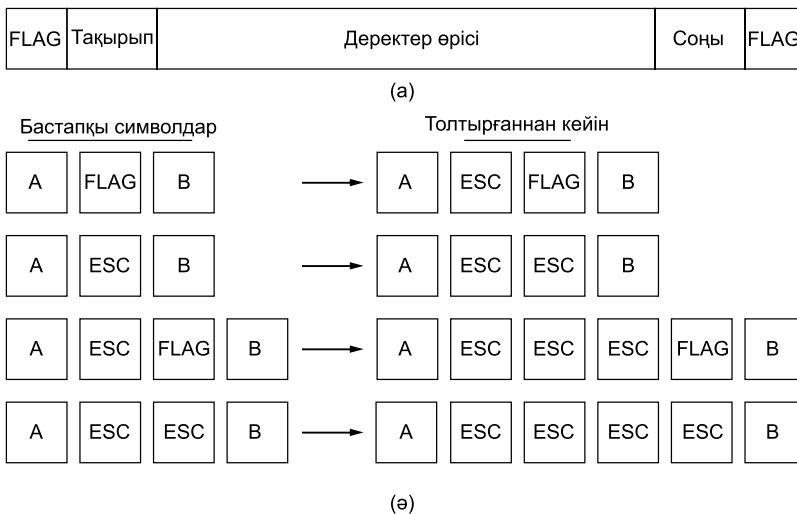
Осыған қарамастан келесі мәселе туындайды. Жеткізілетін деректер екілік жүйедегі фотосурет не музыка болса, флагтік байт есебінде қолданылатын реттілік кездесуі мүмкін. Мұндай жағдайдың орын алуы үйлесімділікті бұзады. Мәселені шешудің бір жолы кодтың ішінде кездейсоқ сәйкес келген флагтік байттың алдына арнайы escape-символдарды (кодтағы белгілерді ауыстыру, ESC) қосу болып табылады. Осылайша нағыз флагтік байтты жалған байттан ESC бар не жоқ болуы арқылы анықтауға болады. Қабылдаушының арналық деңгейі басында escape символдарды алып тастайды, әрі қарай желілік деңгейге жібереді. Бұл әдіс **символды толтыру (byte stuffing)** деп аталады.

Келесі туындауы мүмкін логикалық сұрақ: егер ESC символы да деректердің арасында табылса не болады? Шешім бұрынғыдай: жалған escape символының алдына шынайысын қою. Қабылдаушының жағындағы бірінші escape символы өшіріледі, ал келесі деректер байты тағы да бір ESC немесе флагтік байт болса да қала береді. 3.4-суретте кейбір мысалдар көрсетілген. Кез келген жағдайда байттық реттілік қосымша кіріктірілген символдардан тазалағаннан соң, бастапқы символдарымен анық сәйкес келеді. Кадрлардың шегін қосымша ESC символдарын өшіргенге дейінгі екі кезектес флагтік байттар арқылы табуға болады.

3.4-суретте бейнеленген символдық толтыру схемасы дестелерді байланыс арналары арқылы тасымалдайтын **PPP (Point-to-Point Protocol «нүктеден нүктеге»)** хаттамасының кеңейтілген моделі болып табылады. Біз PPP хаттамасын осы тарау соңында қарастырамыз.

Кадрды биттерге бөлетін үшінші әдіс 8 биттік байттарды қолдануды міндетті ететін символдық толтырудың кемшіліктерін өтіп кету мүмкіндігін туғызады.

Деректерді кадрларға бит бойынша бөлуге болады, сонымен қатар кадрларда кездейсоқ сандар болуы мүмкін және әр түрлі ұзындықтағы блоктардан құралуы мүмкін. Бұл әдіс **HDLC (High-level Data Link Control-деректерді тасымал арнасын басқарудың жоғары деңгейлі хаттамасы)** хаттамасы үшін әзірленген. Әр кадр арнайы кезекті 01111110 (немесе 0*7E, он алтылық жүйеде) биттермен толықтырылады және аяқталады. Бұл сол баяғы флагтік байт. Егер биттік лектегі тасымалданатын деректе бес рет қатарынан бірлер келсе, жеткізу деңгейі автоматты түрде шығатын лекке нөл қосады. Биттік толтыру (Bit stuffing) деректердің арасында кездейсоқ табылған флагтің алдына escape символ қоятын символдыққа толтыруға ұқсайды. Сонымен қатар, биттік толтыру физикалық деңгейдегі үйлесімділікті сақтаушы тасымал тығыздығының минималды болуына кепілдік береді. Осы себептен биттік толтыру **USB (Universal Serial Bus – универсалды кезекті шина)** хаттамасында қолданылады.

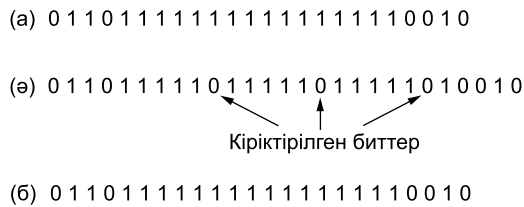


3.4-сурет. Флагтік байттармен шектелген кадр (а); символдық толтыруға дейінгі және кейінгі байттық реттіліктің 4 мысалы (ә)

Қабылдаушы жақ қатар келген бес бірліктен кейін нөлді көргенде, автоматты түрде нөлді өшіреді. Биттік толтыру символдық толтыру секілді қос компьютердің желілік деңгейі үшін де әбден айқын. Егер флагтік реттілік 01111110 қолданушының деректерінде кездесе, ол 011111010 ретінде жеткізіледі, бірақ қабылдаушы компьютердің жадында алғашқы 01111110 қалпында сақталады. **3.5-суретте** биттік толтырудың мысалы көрсетілген.

Биттік толтыру арқылы екі кадр арасындағы шек флагтік реттілік арқылы анықталады. Егер қабылдаушы жақ кадрлар шегін жоғалтса, жіберілген биттер ағынының арасынан тек кадрлардың шегінде, басқа еш жерде кездеспейтін флагтік байтты табу қажет.

Биттік және байттық толтырудың кері әсері – кадрдың ұзындығының ішіндегі деректердің құрамына байланыстылығында. Мысалы, деректе флагтік байт кездеспесе, 100 байттық деректі шамамен 100 байттық кадр арқылы жіберуге болады. Ал егер деректер тек қана флагтік байттардан құралса, онда әр флагтік байттың алдына арнайы символ қойылады, нәтижесінде кадрдың ұзындығы шамамен 200 байтқа жетеді. Биттік толтыру бойынша әр байтқа 1 бит қосылғандықтан өзгеріс 12,5%-ға ұлғаяды.



3.5-сурет. Биттік толтыру: бастапқы дерек (а); байланыстағы дерек (ә); кірістірілген биттерді өшіргеннен кейінгі жадта сақталған дерек (б)

Кадрларды құрудың соңғы әдісі физикалық деңгейдің ерекшеліктермен тікелей байланысты. 2-тарауда биттерді сигнал түрінде кодтау барысында қабылдаушы тараптың жұмысын жеңілдету мақсатында қосымша деректер қосылады. Бұл кей деректердің өзінде сигналдардың шықпауы деген сөз. Мысалы, 4В/5В желісінде 4 биттік дерек 5 биттік дерекпен қанағаттанарлық дерек жеткізуге кепілдік беру үшін салыстырылып қарастырылады. Осылайша 32 мүмкін сигналдың 16-ы қолданылмайды. Кейбір резервтелген сигналдарды кадр шекарасының басын және соңын белгілеуде қолдануға болады. Кадрларды шектеу үшін «тұйым салынған сигналдарды» қолдануға болады. Бұл әдістің ерекшелігі резервтелген сигналдардың кадрдың басқы және соңғы шекарасын іздеуді оңайлатуында, деректерді қосымша байт немесе биттермен толтырудың қажеттілігі болмауында.

Арналық деңгейдің көптеген хаттамаларында суреттелген әдістердің түрлі қосындысы қауіпсіздікті арттыруда қолданылады. Ethernet және 802.11 хаттамаларында кадрлар нақты анықталған преамбула шаблондарынан басталады. Бұл шаблон әжептәуір ұзын болуы мүмкін (802.11 үшін 72 бит), бірақ жіберушінің дестені қабылдау ісін жеңілдетеді. Преамбуладан соң тақырыпта ұзындық алаңы (бит есептегіші) жіберіледі. Ол кадрдың соңын анықтау үшін қажет.

3.1.3. Қателерді өңдеу

Кадрлардың басын және соңын белгілеу мәселесін шешкеннен соң біз желілік деңгейдің қабылдаушы машинасына барлық кадрлардың жеткізілуін және дұрыс реттілікте орналастыру мәселесімен бетпе-бет келеміз. Біз жолданушының қабылдаған кадрының дұрыс не бұрыс ақпарат қабылдағандығын біледі

деп есептелік (тасымал қателерін танып, жөндейтін кодтар жайлы кейінірек әңгімелейміз). Жеткізуді растау қажет емес желілерде жіберуші жай ғана кадрды жолданушыға жетіп-жетпегендігін ескермей жібереді. Бірақ байланысқа бағытталған растамалы қызметке бұл жеткіліксіз.

Сенімді тасымалды кепілдендіру үшін жалпы жіберушіге желінің екінші соңында болып жатқан істер жайлы ақпарат жіберіледі. Хаттама қабылдаушыдан кадрлардың қабылдануы жайлы оң не теріс хабарламадан тұратын арнайы кадрлар жіберуін талап етеді. Оң хабарлама алу арқылы жіберуші жіберген кадрдың бүтін күйде жеткендігін біледі. Теріс хабарлама, керісінше, кадрға қатысты бір жағдай орын алғандығын және қайта жіберу керек екендігін білдіреді.

Одан басқа жіберілген кадр құралдың істен шыққандығына байланысты немесе қандай да бір кедергі (мысалы, шу) әсерінен толығымен жоғалуы мүмкін. Мұндай жағдайда қабылдаушы жақ еш нәрсе қабылдамайды, осыған байланысты еш әрекет жасамайды. Егер кадр жоғалса, жіберуші одан әрі қандай әрекет жасайтындығын білмейді. Егер кадр құралдың немесе байланыс арнасының істен шығуына байланысты жоғалса, жіберуші кадр жіберіп, оң не теріс хабарлама күтетін кадр мәңгілікке тұрып қалады.

Кадрдың толығымен жоғалу нәтижесінде желіде тұрып қалудың алдын алу үшін арналық деңгейдің таймерлері қолданылады. Кадрды жібергеннен кейін қабылдаушы компьютердің жіберілген кадрды қабылдап, өңдеуге кететін және қайта растама жіберетін уақыт аралығын есептейтін таймер қосылады. Дұрыс жағдайда кадр белгіленген уақыт аралығында қабылданады және растау кері жіберіледі, тек содан кейін ғана таймер өшіріледі.

Егер жолда кадр немесе растама жоғалатын болса, белгіленген уақыт өтіп кетеді, жіберуші мүмкін болған мәселе жайлы хабар алады. Жіберуші үшін оңай шешім кадрды қайта жіберу болып табылады. Бұл жағдайда қабылдаушы бір кадрды арналық деңгейде бірнеше рет қабылдап, желілік деңгейге қайта жіберуі мүмкін. Мұндай жағдайдың орын алмауы үшін жіберілген кадрларды нөмірлеу қажет, яғни қабылдаушы қайта тасымалдаған кадрларды түпнұсқасынан айыра білу керек.

Әр кадрдың тек бір рет ғана, одан кем не артық қабылдаушының желілік деңгейіне тасымалданғандығына кепілдік беретін таймерлер мен реттік нөмірлерді басқару арналық деңгейдің (және жоғары деңгейлердің) шешетін ең басты мәселесінің бірі. Осы тараудың төменінде біз күрделі мысалдар негізінде мұндай басқару әдісін қарастырамыз.

3.1.4. Ағынды басқару

Арналық деңгейді (басқа да жоғары деңгейді) жасаудың тағы бір маңызды аспектісі, қабылдаушының қабылдау қабілетінен жылдамырақ кадр жібергісі келетін жіберушімен не істеу керек деген мәселемен байланысты. Мұндай жағдай егер жіберушінің компьютері қабылдаушыға қарағанда жылдамырақ және

күштірек болса орын алуы мүмкін. Мысалы, жоғары технологиялық серверден сұраныс жасап жатқан смартфонды елестетіңіз. Күштірек машина от шлангысын айналдырып, телефонға бағыттайды, деректермен лық толтырады. Байланыс желісі ең идеал түрде қызмет көрсеткеннің өзінде қабылдаушы келген кадрларды өңдей алмай, жоғалта бастайды.

Мұндай жағдайды болдырмас үшін, іс-шаралар қолдану керектігі анық. Қазіргі уақытта екі тәсіл қолданылады. Біріншісі **кері байланыс арқылы ағынды басқару (feedback – based control)**: қабылдаушы жіберушіге тасымалдауға рұқсат береді немесе ең кем дегенде қабылдаушының жағдайы қандай екендігі туралы ақпарат жібереді. Екіншісі **шектеулі ағынды басқару (rate-based flow control)**: хаттама жіберушінің деректер жіберу жылдамдығын бәсеңдететін механизмге кіріктіріледі. Қабылдаушымен кері байланыс болмайды.

Бұл тарауда транспорттық деңгейде (толығырақ *5-тарауда*) тек кері байланыс тәсілі қолданылғаны үшін, тек осы байланысты ғана қарастырамыз. Кері байланыспен ағынды басқару арналық деңгейде қолданылады, бірақ жоғары деңгейлерде көбірек қолданылады. Ақпаратты жоғалтпас үшін арналық деңгейдің құрылғылары әжептәуір жылдам жұмыс жасайды. Мысалы, осы деңгейдің карта түріндегі аппараттық жасаушысы **NIC (Network Interface Card – Желілік интерфейстік карта)** өзінің деректерді тасымалдау жылдамдығымен жұмыс істейтіндігін айтады, бұл кадрлар келу жылдамдығымен өңделеді деген сөз. Арналық деңгей толып кетуді қарастырмайды, бұл мәселелер жоғары деңгейлерде шешіледі.

Кері байланыспен ағынды басқарудың әр түрлі схемасы белгілі, бірақ барлығы дерлік бір қағиданы қолданады. Хаттама жіберуші келесі кадрды қашан жібере алатындығын анықтайтын ережелерден құралады. Бұл ережелер қабылдаушы кадр қабылдауға анық не анық емес рұқсат бермейінше, кадрларды тасымалдауға тыйым салады. Мысалы, байланыс орнату барысында қабылдаушы былай айта алады: «Сіз маған қазір *n* кадр жібере аласыз, бірақ сізге жалғастырыңыз деп сұрамайынша, келесі кадрлады жібермеңіз». Біз осы тарау барысында осы қағидаға негізделген әр түрлі механизмдерді қарастырамыз.

3.2. ҚАТЕЛЕРДІ ТАБУ ЖӘНЕ ЖӨНДЕУ

2-тарауда көрсетілгендей, деректерді тасымал арнасының қасиет диапазоны үлкен. Телекоммуникациялық желілердегі оптикалық талшық арналары секілді кей арналарда қателік ықтималдылығы өте төмен, сондықтан деректердің жоғалуы өте сирек. Бірақ сымсыз желілерде не ескі жергілікті желілерде қателіктер саны ондаған есе көп. Мұнда қателікпен жіберу қалыпты саналады. Олардың барлығын болдырмас үшін өнімділік бойынша көп шығын қажет болады. Шығатын келесі тұжырымдама: деректерді тасымалдау барысындағы қателік көп жылға дейін маңызды фактор болып қала береді. Біз енді қателерді анықтау мен жөндеу әдістерін үйренуге көшеміз.

Желі өндірушілер қателіктермен күресудің екі негізгі стратегиясын жасаған.

Әр әдіс тасымалданатын деректерге артық ақпарат қосуға негізделген. Кейбір жағдайда қабылдаушы қандай деректердің тасымалдану керектігін анықтау үшін бұл ақпарат жеткілікті саналады. Келесі жағдайда артық ақпарат қабылдаушының қателердің (оның типін көрсетпей) орын алғандығын түсініп, қайта тасымал сұрауы үшін жеткілікті. Бірінші стратегия **түзеуші** немесе **қателерді жөндеуші (error correcting codes)** кодты қолданады. Ал екіншісі **қателерді табу (error detecting codes)**. Қателерді жөндеу кодын қолдануды **қателерді тікелей жөндеу (Forward Error Correction – FEC)** деп атайды.

Әр стратегияның өзіндік орны бар. Оптоталшықты сияқты жоғары сенімділікке ие арналарда қателерді табу кодын қолданып, бүлінген блоктарды қайта тасымалдаған арзанырақ болады. Қателіктер көп туындайтын сымсыз байланыстарда қабылдаушы қандай деректердің келгендігін анықтау үшін артық кодтар жиі қолданылады. Қайта тасымалдау барысында қателік ықтималдылығы үлкен шулы арналарда қателерді тікелей жөндеу қолданылады.

Қай әдісті қолдану тиімдірек екендігін түсіну үшін қандай қателік типі жиі кездесетіндігін білген жөн. Артық биттер тасымал барысында бүлінуі мүмкін болғандықтан, қателерді табу немесе жөндеу кодтары барлық қателерді жөндей алмайды. Егер деректерді тасымалдау арнасы деректер битінен косымша биттерді айыра алғанда, жағдай жақсы болар еді, бірақ бұл мүмкін емес. Анықталмайтын қателердің алдын алу үшін анықталған қателерді жөндейтін өте сенімді кодтар қолдану қажет. Бірінші моделде қателердің себебі термалдық шудың өте жоғары мәнге ие болуы, аз уақыт аралығындағы сигналдарды жауып, бір битті тұйықталған қателерді туындатады. Екінші модел қателіктер жеке емес, реттілікпен туындайды деп есептейді. Сымсыз арнаның тереңірек қатып қалуы немесе арналық деңгейдегі уақытша электрлік кедергіні туындататын физикалық процестермен түсіндіріледі.

Қос моделдің өзіндік артықшылығы мен кемшіліктері бар. Неліктен қателік реттілігі жеке қателіктен жақсырақ болады? Компьютер әрдайым деректерді блоппен жібереді. Блоктың өлшемі 1000 бит, қателік ықтималдылығы бір бит үшін 0,001-ге тең делік. Егер қателіктер тәуелсіз болса, онда әр блокта қателіктер табылар еді. Бірақ Қателердің реттілігі орын алса, орташа есеппен жүз блоктың бірі ғана бүлінеді. Тұйықталған қателікке қарағанда қателік реттілігін жөндеу қиынырақ.

Басқа да қателіктер типі кездеседі. Кей кезде қателердің орны белгілі. Мысалы, физикалық деңгей мәні күтілген 0 не 1-ден өзгеше ұқсас сигналды қабылдайды және биттің жоғалғандығын хабарлайды. Мұндай арна өшіруші **канал (erasure channel)** деп аталады. Бит мәндері қарама-қарсы мәнде өзгертін арналарға қарағанда, өшіруші арнадағы қателерді жөндеу оңайырақ: егер биттің мәні жоғалса да, біз қателердің қайда туындағанын білеміз. Соған қарамастан, өшіруші арналардың артықшылығын қолдану аз кездеседі.

Әрі қарай қателерді жөндеу және қателерді анықтау кодтарын қарастырамыз. Екі нәрсені ұмытпауларыңызды сұраймыз. Біріншіден, біз бұл мәселені бит топтамасын сенімді тасымалдау алғаш туындайтын арналық деңгейде қарастырып жатырмыз. Бірақ сенімділік әрқашан әр жерде маңызды болғандықтан кодтар кеңінен қолданылады. Қателерді жөндеуді шулы арналар мәселесі туындайтын физикалық

деңгейде және шын уақыт бойынша мультимедиалық ақпарат тасымалданатын одан да жоғары деңгейлерде көрсек болады. Қателерді табу арналық, желілік, транспорттық деңгейлерде қолданылады.

Осыдан басқа, қателік коды қолданбалы математикаға қатыста екендігін есте сақтаған жөн. Егер сіз Галуа ағыны не әлсіз толтырылған матрица бойынша маман болмасаңыз, өзіңіз жасаған емес, сенімді, тексерілген кодтарды қолданыңыз. Шындығында, көптеген стандартты хаттамаларда осылай жасалады, сол баяғы кодтар алдыңыздан бірнеше рет шығатын болады. Әрі қарай қарапайым кодты толығырақ үйренеміз, сосын бірнеше күрделісін қарастырамыз. Сонымен қатар сіз әр түрлі кодтардың артықшылығы мен кемшілігін түсініп, қолданыста бар кодтармен танысасыздар.

3.2.1. Қателерді жөндеуші кодтар

Қателерді жөндеуші әр түрлі 4 код қарастырамыз:

1. хэмминг коды;
2. екілік түйіншектелген кодтар;
3. Рид-Соломон коды;
4. жұптылық тексеретін тығыздығы аз кодтар.

Барлық кодтар тасымалданушы ақпаратқа артық деректер қосады. Кадр m бит деректен (яғни, ақпараттық биттен) және r артық бақылау битінен тұрады. **Блогтық кодта** r бақылау биті m бит дерекпен байланысқан m бит деректер мен r бит бақылау биттерінің кестесі бар секілді қарапайым функция арқылы есептеледі. Жүйелік кодта m дерек биті бақылау битімен бірге жіберіледі, жіберілместен бұрын кодталмайды. **Сызықтық кодта** r бақылау биті m дерек битінен сызықтық функция табу арқылы есептеледі.

Жоққа шығарушы НЕМЕСЕ (XOR) не модуль бойынша 2-ге бөлу жиі қолданылады. Бұл кодтауға матрицаларды көбейту немесе қарапайым логикалық схемалар сияқты амалдар қолданылады деген сөз. Осы тараудан әрі қарай сызықтық блоктық кодтар қарастырылады.

Кадрдың толық ұзындығы n -ге (яғни, $n=m+r$) тең болсын. Мұны (n, m) арқылы белгілейміз. Ақпараттық және бақылау биттерінен құралған n бит топтамасын көбінесе n биттік кодтық сөз не кодтық комбинация деп атайды. **Кодтық норма (code rate)** немесе **жай норма** – артық емес, яғни n/m ақпаратты тасушы кодтың сөздің бөлігі. Тәжірибеде норманың мәні өте қатты өзгеруі мүмкін. Мысалы, шулы арна үшін норма $1/2$ -ге тең, яғни қабылданған ақпараттың жартысы артық кодтардан құралған. Жақсы арналарда норма бірге жақын, ұзын хабарламаларға бірнеше бақылаушы кодтары қосылады.

Қателердің қалай жөнделетіндігін түсіну үшін қателердің мағынасын түсінуіміз қажет. 10001001 және 10110001 мәніне ие екі кодтық сөзді қарастырайық, олардың бағаналар бойынша өзгерістерін байқасақ болады. Берілген мысалда 3 бит өзгеше. Бұл санды табу үшін екі кодтық сөзді модуль 2 бойынша қосып, нәтижедегі бірліктің санын санау керек, мысалы:

$$\begin{array}{r} 10001001 \\ + 10110001 \\ \hline 00111000 \end{array}$$

Екі кодтық сөздегі өзгеретін биттің саны **кодтық қашықтық** не Хэмминг (Hamming, 1950) бойынша кодтың комбинациялары аралығындағы қашықтық деп аталады. Егер екі кодтық сөздің қашықтығы d -ға тең болса, бір кодтық сөзден екіншісін тудыру үшін жеке битте d қателігі болуы қажет. Бақылау разрядтарының құрудың алгоритмін білгендіктен, мүмкін болатын кодтық сөздердің тізімін жасауға болады және осы тізімнен минималды қашықтыққа ие жұпты табуға болады. Бұл қашықтық кодтың минималды қашықтығы немесе Хэмминг бойынша барлық кодтың қашықтығы деп аталады.

Көптеген деректерді тасымалдау қосымшаларында 2^m мүмкін хабарламаға рұқсат беріледі, бірақ бақылау биттері қолданылғандықтан, барлық мүмкін болатын 2^m кодтық сөз қолданылмайды. Шындығында, егер бақылау биті m болса, рұқсат етілетін кодтық сөз 2^m емес, $\frac{2^m}{2^n}$ немесе $\frac{1}{2^r}$ болады. Кодтық сөздер кеңістігіндегі деректердің ыдыраңқылығы қабылдаушының қателерді тауып, жөндеуіне мүмкіндік береді. Блоктік кодтың қателерді табу мен жөндеу қабілеті оның минималды кодтық қашықтығына тәуелді. d қателерді сенімді табу үшін $d+1$ минималды код қашықтығы қажет, d бір битті қателік бір рұқсат етілген комбинацияны басқа комбинация пайда болу үшін өзгерте алмайды. Қабылдаушы тыйым салынған комбинацияны көргенде, тасымал барысында қателердің кеткендігін түсінеді. Осыған ұқсас, d қателерді жөндеу үшін $2d+1$ минималды кодтық қашықтығы бар код қажет, бұл жағдайда d бір биттік қателіктерде нәтиже бастапқы мәнге жақын болады, осылайша қайта қалпына келтіруге болады. Бұл үлкен мөлшерде қателік туындау ықтималдылығы аз қағидасына сүйене отырып, бастапқы кодтық сөзді қайта қалпына келтіруге болады деген сөз.

Жөндеуші кодқа қарапайым мысал ретінде төрт рұқсат етілген кодтық комбинациясы бар кодты қарастырамыз: 0000000000, 0000011111, 1111100000 және 1111111111.

Кодтың қашықтығы 5-ке тең, бұл екілік қателерді жөндеп, төрттік қателерді табады деген сөз. Егер қабылдаушы бір не екі биттік қателерді күте отырып, 0000001111 кодтық сөзін алса, түпнұсқаның 0000011111-ге тең екендігін түсінеді. Егер үштік қателік 0000000000-ді 0000001111-ге өзгертсе, қателік бұрыс өзгертілген болады. Егер аталған қателердің барлығы күтілсе, оларды тануға болады. Қабылданған кодтық сөздің ешқайсысы рұқсат етілген тізімге кірмейді. Нәтижесінде, қателік туындады деген сөз. Аталған мысалда бір мезетте екі қателерді жөндеу мен төрт қателерді табу мүмкін емес, өйткені қабылданған кодтық сөзді екі түрлі әдіспен аудару қажет.

Біздің декодтау мысалымызда, яғни қабылданғанға көбірек ұқсайтын кодтық

сөзді іздеуде қарапайым тексеру жасасақ болады. Өкінішке орай, жалпы жағдайда кандидаттыққа барлық кодтық сөзді қарастырғанда, өте көп уақыт кетеді. Мұның орнына қолданысқа ие белгілі ескертпе арқылы қажетті кодтық сөзді іздейтін кодтар жасалынады.

Бірлік қателерді жөндейтін m ақпараттық және r бақылау битінен құралған код жасауға тырысайық. Рұқсат етілген 2^m хабарламаға хабарламадан 1 қашықтыққа артта қалған n рұқсат етілген кодтық сөз сәйкес келеді. Мұны әр n битті n биттік кодтық сөзге инверттеу арқылы табуға болады. Осылайша, әр 2^m рұқсат етілген хабарламаға $n+1$ кодтық комбинация сәйкес келеді. Рұқсат етілген комбинация саны 2^n болғандықтан, $(n+1)2^m < 2^n$ болады. $n = m + r$ болғандықтан, келесі кейіпке келтіруге болады:

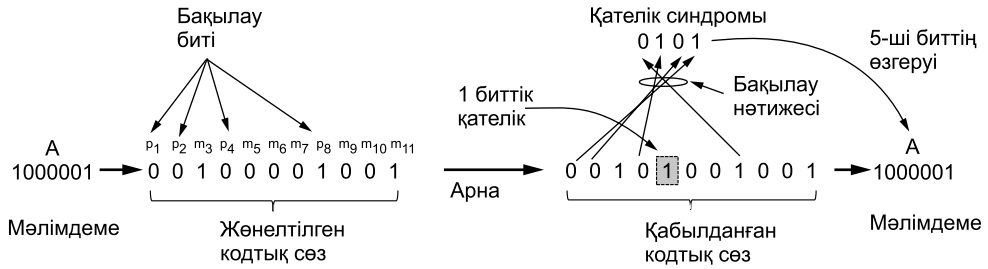
$$(m + r + 1) \leq 2^r \quad (3.1)$$

Егер m берілсе, аталған формула бірлік қателерді жөндеуге қажет болатын бақылау битінің төменгі шегін суреттейді.

Бұл теориялық төменгі шек **Хэмминг коды** (1950) арқылы тәжірибеде табылады. Хэмминг кодында кодтық сөздің биттері солдан оңға 1-ден бастап нөмірленеді. 2 дәрежеге тең (1,2,4,8,16) биттік нөмірлер бақылау биттері болып табылады. Қалған биттер (3,5,6,7,9,10, т. б.) m биттік деректермен толтырылады. (11,7) 7 дерек биті және 4 бақылау биті бар Хэмминг коды үшін *3.6-суретте* көрсетілген. Әр бақылау биті өзін қоса есептегендегі белгілі бит тобының жұптықпен (тақтықпен) немесе модуль 2 бойынша қамтамасыз етеді. Бір бит бірнеше бақылау битін есептеуде қолданыла береді. k позициясындағы дерек биттерінің қайсысы бақылау сомасын есептеуде қолданылатындығын есептеу үшін k -ны санның 2 дәрежесіне қосу керек. Мысалы, $11=8+2+1$, ал $29=16+8+4+1$. Әр бит тек жіктеуге кіретін бақылау биттерімен тексеріледі (Мысалы, 11-бит 8, 2, 1 биттері бойынша тексеріледі). Біздің мысалымызда бақылау биттері «А» әрпін ASCII кодта елестету барысында хабарламаны жұптыққа тексеру үшін есептеледі.

Бұл кодтың қашықтығы 3-ке тең, яғни ол бірлік қателерді жөндей алады (екілік қателерді табады). Деректер биті мен бақылау битін нөмірлеудің күрделілігінің себебі декодтау үрдісін қарастырсақ, анық болады. Кодтық сөз келгенде, қабылдаушы қабылданған бақылау кодтарының мәнін есептеп, бақылау битін қайта есептейді. Оларды тексеру нәтижесі деп атайды. Егер бақылау биті дұрыс болса, барлық жұп сомалар үшін нәтиже нөлге тең болуы керек. Осы жағдайда ғана кодтық сөз дұрыс деп қабылданады.

Егер тексерудің барлық нәтижесі нөлге тең болмаса, қателік анықталды деген сөз. Тексеру нәтижелері топтамасы қателерді анықтап, жөндейтін **қателік синдромын (error syndrome)** тудырады. *3.6-суреттегі* арнада бір биттік қателік орын алды. Тексеру нәтижесі $k=8,4,2,1$ үшін тиісінше 0,1,0, және 1-ге тең. Осылайша, синдром 0101 немесе $4+1=5$. Схемаға сәйкес, 5-битте қате бар. Оның мәнін (бұл бақылау биті не ақпарат биті болуы мүмкін) өзгерту және бақылау битін жоюарқылы, біз «А» әрпінің ASCII жүйесіндегі дұрыс хабарламасын аламыз.



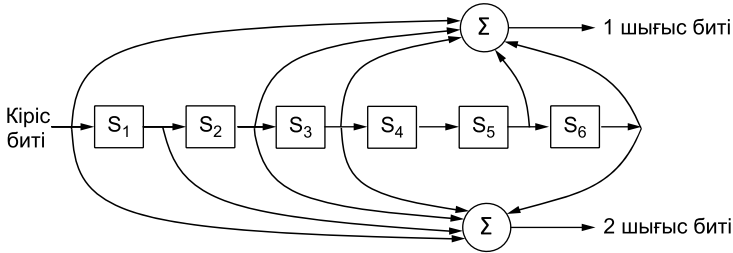
3.6-сурет. Бір биттік қателерді жөндейтін (11,7) Хэмминг кодының мысалы

Кодтық қашықтық блоктық кодтарды түсінуде пайдалы, ал Хэмминг коды өзін жөндеуші жадта қолданылады. Бірақ көптеген желілерде сенімді кодтар қолданылады. Біз танысатын кодтың екінші түрі **түйіншектелген код** деп аталады. Бұл кітапта қарастырылған кодтардың ішінде тек ол ғана блоктік типке кірмейді. Кодтаушы кіретін бит реттілігін өңдеп, шығатын биттердің реттілігін жасайды. Блоктық кодтан ерекшелігі хабарламаның көлеміне ешқандай шектеу қойылмайды, кодтау шегі болмайды. Шығатын биттің мәні кодтаушының жадты қолдану мүмкіндігі болса, ағымдағы және алдыңғы кіретін битке тәуелді. Шығыс тәуелді болатын алдыңғы бит санын аталған код үшін кодтық шектеу ұзындығы деп атаймыз. Түйіншектелген кодтар кодтық норма және кодтық шектеу ұзындығы терминдерінде суреттеледі.

Түйіншектелген кодтар кең желілерде кеңінен қолданылады. Мысалы, GSM ұялы телефон жүйесіне, спутниктік желілерге, 802.11 желілеріне кіреді. Мысал ретінде 3.7-суретте көрсетілген түйіншектелген кодты көрсетсек болады. Ол $r = 1/2$, $k = 7$ NASA-ның түйіншектелген коды деп аталады (алғаш рет бұл код Voyager станциясынан 1977 жылы ұшқан космосқа ұшу барысында қолданылған). Сол уақыттан бері 802.11 сияқты қосымшаларда қолданылып келеді.

3.7-суретте сол жақтан кіретін әрбитке оң жағынан шығатын екі бит көрсетілген. Шығатын биттер кіретін биттер мен ішкі жағдайға кірістірмейтін NEMECSE амалын қолдану арқылы табылады. Кодтау бит деңгейінде жұмыс істегендіктен және сызықтық амалдарды қолданғандықтан, бұл екілік сызықтық түйіншектелген код болып табылады. Бір кіретін бит екі шығатын бит жасайтындықтан, кодтық норма $r^{1/2}$ -ге тең. Бұл код жүйелік емес, сондықтан кіретін биттер тікелей шығысқа ешқашан тасымалданбайды.

Ішкі жағдай алты жадылық регистрде сақталады. Кіріске кезекті бит келгенде, регистрдің мәні оңға жылжиды. Мысалы, кіріске 111 реттілігі берілсе, бастапқы жағдайда жадта тек нөлдерден тұрады, бірінші, екінші, үшінші биттерді бергеннен кейін сәйкесінше 100000, 110000, 111000-ке өзгереді. Шығыста 11, сосын 10, 01 мәндері шығады. Регистрдің (сол кезде нәтижеге әсер етпейді) алғашқы жағдайын қысу үшін жеті қозғалыс қажет. Аталған код үшін кодтық шектеудің ұзындығы k -ға тең, яғни 7-ге тең болады.



3.7-сурет. Екілік NASA-ның түйіншектелген коды 802.11 желілерінде қолданылады.

Түйіншектелген кодты декодтау үлкен ықтималдылықпен бақыланатын шығыс биттері реттілігін (кез келген қателерді қоса) туындататын кіріс биттері реттілігін іздеу арқылы жасалады. k -ның аз мәндері үшін Питерби (Forney, 1973) жасаған, кең қолданысқа ие алгоритмнің көмегімен жасауға болады. Бұл алгоритм әр қадамды сақтай отырып, бақыланатын минималды қателік санын туындататын ішкі мүмкін әр жағдайға бақыланатын реттілік бойынша жүреді. Минималды қателік санына сәйкес келетін кіріс реттілігі шыққан хабарламаның үлкен ықтималдығына тең.

Түйіншектелген кодтар декодтау барысында биттің белгісіздік мәнін (0 немесе 1) кеміту оңай болғандықтан кең қолданысқа ие. Мысалы, -1 0-дің, $a+1$ 1-дің логикалық теңдеуіне сәйкес келеді деп есептеледі. Екі биттің мәні $0,9B$ және $-0,1B$ -ге тең. -1 -дің бірінші битке, 0 -ді екінші биттің орнына қабылдамастан, $0,9B$ -ны «өте мүмкін болатын бірлікке», $-0,1B$ -ны мүмкін болатын нөлге қабылдап, барлық реттілікті жөндесек болады. Белгісіздіктердің қателерді сенімді жөндеу үшін әр түрлі Питерби кеңейтілген алгоритмін қолдансақ болады. Белгісіз бит мәнін өңдеу тәсілі жұмсақ шешім **қабылдау арқылы декодтау (soft-decision decoding)** деп аталады. Керісінше, егер қай биттің нөлге тең екендігін шешетін болсақ, мұндай әдіс қатаң шешім **қабылдау арқылы декодтау (hard-decision decoding)** деп аталады.

Қателерді жөндейтін кодтың үшінші түрі Рид-Соломон коды деп аталады. Хэмминг коды сияқты Рид-Соломон коды да сызықтық блоктық кодқа, кейбіреулері жүйелік кодқа жатады. Жеке биттерге қолданылатын Хэмминг кодынан Рид-Соломон кодының ерекшелігі m биттік топпен жұмыс істеуінде. Математикасы қиын болғандықтан, ұқсастықты қолданамыз.

Рид-Соломон коды әр n -дәрежелі көп мүше $n + 1$ нүктемен бірегей анықталады. Мысалы, егер сызық $ax + b$ формуласымен берілсе, оны екі нүкте бойынша қайта қалпына келтіруге болады. Осы сызықтағы қосымша нүктелер артық, бірақ қателерді түзеуде пайдалы. Деректердің екі нүктесі сызық ұсынады деп есептеледі. Біз желі бойынша екі нүктелі деректі, сол нүктеде жатқан екі бақылау нүктесін жібереміз. Егер нүктелердің біреуінің мәні жолай қателікке бой алдыртса да деректер нүктесін қабылданған дұрыс нүктелерге сызықты сәйкестендіру арқылы қайта қалпына келтіруге болады. Үш нүкте сызықта болады, ал қате бір нүкте сыртта жатады. Сызықтың орнын дұрыс табу арқылы қателерді түзете аламыз.

Расында Рид-Соломон коды соңғы ағындардағы көп мүше ретінде анықталады. m биттік символдар үшін кодтық сөздің ұзындығы $2^m - 1$ символдан тұрады. $m=8$ мәні жиі қолданылады, яғни әр символға бір байт сәйкес келеді. Онда кодтық сөздің ұзындығы 255 байтқа тең. (255,233) коды кеңінен қолданылады, ол 233 дерек символына қосымша 32 бит қосады. Қателерді жөндеуді декодтау Берлекэмп және Месси жасаған алгоритмнің көмегімен іске асады, орташа ұзындықтағы кодқа қиыстыру іске асырылады (Massey,1969).

Рид-Соломон коды практикада реттілік бойынша қателерді жөндеуде жақсы мүмкіндіктері болғаны үшін жиі қолданылады. Олар DSL желісінде, кабельдік және спутниктік желілерде және компакт дискілердегі, DVD дискідегі және Blue ray-дегі қателерді жөндеуде қолданылады. Жұмыс m биттік символ базасында жасалғандықтан, бірлік қателіктер мен m биттік реттілік қателіктер бір символдық қате сияқты бірдей өңделеді. $2t$ артық символдарын қосқанда, Рид-Соломон коды тасымалданған символдардан кез келген t қателерді жөңдей алады. Бұл, 32 артық символы бар (255,233) код 16 символдық қателікке дейін жөңдей алады дегенді білдіреді. Символдар кезектес болуы мүмкін болғандықтан, олардың көлемі көбінесе 8 битті құрайды, сондықтан 128 битке дейінгі қателік кезегін жөндеу мүмкіндігі бар. Егер қателік моделі деректерді өшірумен (мысалы, бірнеше символды өшіретін компакт дискідегі сызылу) байланысты болса, жағдай одан да жақсы болады. Мұндай жағдайда $2t$ қателікке дейін жөндеуге болады.

Рид-Соломон коды түйіншектелген кодтармен бірге қолданылады. Себебі мұнда түйіншектелген кодтар тұйықталған бір битті қателерді тиімді өңдейді, бірақ қателік реттілігімен егер қабылданған биттегі қате тым үлкен болса әлі келмейді. Орамды кодтың ішіне Рид-Соломон кодын қосу арқылы сіз бит ағынын кезектес қателіктерден сақтай аласыз. Осылайша, алынған құрама код бірлік немесе көп қателерден сенімді қорғайды.

LDPC (Low-Density Parity Check – жұптылыққа тексеретін аз тығыздықты код) кодын қарастырайық. LDPC коды Роберт Галлер ойлап тауып, докторлық диссертациясында суреттелген сызықтық блоктық код (Gallagher,1962). Басқа диссертациялар сияқты бұл да ұмытылып кеткен. Бірақ 1995 жылы есептеуші күштер үлкен іс атқарғанда, ұмытылған код қайтадан табылады.

LDPC кодында әр шығыс биті кіріс битінің жиынтығынан құралады. Бұл бізді кодты бірліктің төменгі тығыздығы бар кодты матрицалық елестетуге соқтырады. Қабылданған кодтық сөз рұқсат етілген кодтық сөзді алмайынша, қабылданған деректерден құралған ең жақсы жақындатуды кезекті жақсартатын аппроксимация алгоритмі бойынша декотдталады. Осылайша, қателердің алдын алады.

LDPC кодын үлкен көлемді блоктарға қолдану ыңғайлы. Олар біз қарастырған басқа кодтарға қарағанда қателіктермен жақсы күреседі. Осы себептен LDPC коды жаңа хаттамаларға қосылады. Олар цифрлы теледидардың стандартының, Ethernet 10Гбит/с желісінің, электр көзімен қуаттанатын желілерде және 802. 11-дің соңғы нұсқасының бөлігі болып табылады. Әлі даму үстінде болып жатқан жаңа хаттамаларда бұл код міндетті түрде қолданылатын болады.

3.2.2. Қателерді табатын кодтар

Қателерді жөндейтін кодтар тасымал ортасы өті шулы, оптогалшықты кабельге негізделген жүйелерге қарағанда қателік көп болатын сымсыз жүйелік байланыстарда кеңірек қолданылады. Қатені жөндей, бір нәрсе жіберу тәжірибелік тұрғыдан мүмкін болмас еді. Бірақ оптогалшықты немесе жоғары сапалы мыс сымдар арқылы ақпарат тасымалданатын жүйелерде қателік деңгейі өте төмен, сондықтан қатені тауып, қайта жіберу ең қолайлы әдіс болып табылады.

Біз қателерді табатын кодтың 3 түрін қарастырамыз. Олардың барлығы сызықтық жүйелі блоктық кодтарға жатады:

1. Жұптылыққа тексеретін код
2. Бақылау сомасымен код
3. Циклдік артықтық код

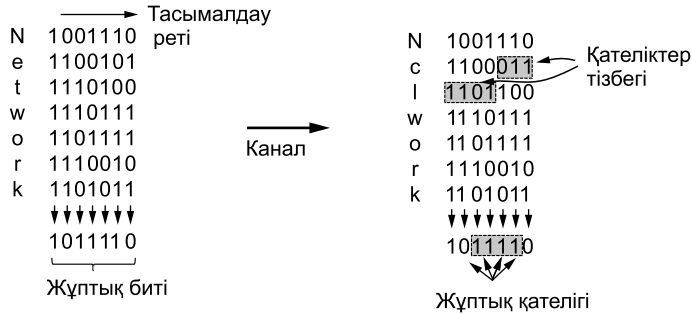
Қай жағдайда қателерді табу жөндеуден әсерлі болатындығын білу үшін тізімде көрсетілген бірінші кодты қарастырайық. Жіберілетін деректерге кодтық сөзіндегі бірліктердің **саны жұп (не тақ)** болу арқылы таңдалатын жұптық биті (parity bit) қосылады. Бұл дерек биттерінің қосындысын модуль 2 арқылы табатын жұптық битті есептеушіге тең (не эокқа шығарушы НЕМЕСЕ амалын қолдану арқылы). Мысалы, 1011010 кодтық сөзі жіберілсе, бірлік саны жұп болуға тиіс және соңына нөл қосылып, реттілік 10110100-ға айналады. Егер бірлік саны тақ болса, реттілік 10110101-ге айналады. Жалғыз жұптық битті кодтың қашықтығы 2-ге тең, себебі кез келген бір биттік қателік кодтық сөздің жұптығын бұрыс етеді. Бұл аталған код бір битті қателерді анықтайды деген сөз.

Әр битке 10^{-6} ықтималдылықпен пайда болатын жекешеленген қателері бар арналы қарастырайық. Мұндай мән аз сияқты көрінуі мүмкін, бірақ қателерді анықтау қиын ұзын кабельдік канал үшін ұйғарымды. Қарапайым жергілікті желі 10^{-10} қателік ықтималдылығымен сипатталады. Деректер блогы 1000 биттен құралсын. Деректер блогы 1000 биттен тұрсын. 1000-биттік блоктағы бір реттік қателерді жөндеу үшін *3.1-теңдеуде* көрсетілгендей 10 бақылау биті қажет. 1 МБиттік деректер үшін 10000 бақылау биті қажет. Жалғыз 1-биттік қатені табу үшін блокқа 1 жұптық бит жеткілікті. Әр 1000 блоктан 1 қате табылады және жөндеу үшін қосымша 1 блок (1001 блок) жіберу керек. Осылайша, 1 МБит дерек үшін қателерді табу мен қайта тасымалдауға кеткен қосымша құн 2001 бит болады, ал Хэмминг кодына 10000 бит қажет болады.

Берілген сұлбаның мәселесі мынада: егер де блокқа бар болғаны бір жұптық битті қосса, онда блокта тек бір-биттік бір қате анықталады. Қателік реттілігі туындаған жағдайда, қателерді табу ықтималдылығы 0,5 бұл бізге тиімсіз. Бұл кемшілікті тасымалданатын блокты n бит ені және k бит биіктігі бар тіктөртбұрышты матрица (құрылыс принципі жоғарыда суреттелді) ретінде қарастырсақ, жоя аламыз. Әр тармаққа бір жұптық битті есептеп жіберсек, әр қатарда қате бірден көп болмау шартымен k бір битті қатесін анықтауға кепілдік береміз.

Қателердің реттілігінің қорғау деңгейін жоғарылату үшін жұптық биттерді де-

ректер жіберілген реттіліктен өзгеше реттілікте есептеуге болады. Бұл әдіс **кезектесу (interleaving)** деп аталады. Біздің мысалымызда әр n бағана үшін жұптық бит есептейміз, бірақ дерек биті k тармақ түрінде жіберіледі: жоғарыдан төменге және солдан оңға. Соңғы тармақта n жұптық битін жібереміз. $n=7$, $k=7$ болғандағы тасымал реттілігі 3.8-суретте көрсетілген.



3.8-сурет. Қателік реттілігін анықтау үшін жұптық биттердің кезектесуі

Кезектесу жекеленген қателерді табуға (жөндеуге) мүмкіндік беретін кодты қателік реттілігін табатын (жөндейтін) кодқа өзгертудің жалпы техникасын көрсетеді. 3.8-суретте ұзындығы $n=7$ қателік реттілігінде қателік биттері әр түрлі бағанада орналасқанын көреміз (қателіктер реттілігі өзіндегі биттердің барлығының қате екендігін көрсетпейді, ең кемінде, бірінші және соңғы бит істен шыққан деген сөз. 3.8-суретте істен шыққан 7 биттің тек 4-і ғана өзгертілген). Әр n бағанада бірден көп бит бүлінбейді, сондықтан бұл бағаналардың жұптық биті қателерді анықтауға көмектеседі. kn дерек битінен құралған блоктағы жұптық бит әдісі ұзындығы n бит не одан аз ұзындықтағы бір қателік реттілігін анықтауға қолданылады.

$n+1$ ұзындығындағы қателік реттілігі бірінші және соңғы бит инверттелсе және қалған биттер өзгеріссіз қалса, анықталмайды. Егер тасымал барысында блокта ұзын қателік реттілігі не бірнеше қысқасы туындаса, әр n бағанның жұптығы дұрыс (бұрыс) болу ықтималдылығы 0,5-ке тең, сондықтан қателерді таппау ықтималдылығы 2^{-n} -ге тең.

Қателерді табатын екінші кодтың типі – **бақылау сомасын қолданатын код** бит жұптығында қолданылатын код тобын есімізге салады. «Бақылау сомасы» деп есептеу әдісінен тәуелсіз хабарламамен байланысқан кез келген бақылау биті тобын айтамыз. Бит жұптығы тобы – бақылау сомасының бір мысалы. Одан басқа хабарламадағы бит дерегінің ағымдағы сомасына негізделген сенімдірек бақылау сомалары бар. Бақылау сомасы көбінесе сома функциясына қосымша ретінде хабарламаның соңына орналасады. Осылайша, қателерді қабылданған барлық кодтық сөзді, яғни дерек битін және бақылау сомасын қосу арқылы анықтауға болады. Егер нәтиже нөлге тең болса, қателік жоқ деген сөз.

Бақылау сомасының бір мысалы – Интернетке дерек жіберу барысында IP

хаттамаларының барлық дестелері қолданатын 16-биттік бақылау сомасы (Graden, және басқасы, 1988). Ол хабарламаның бит сомасын 16 биттік сөзге бөлу арқылы көрсетеді. Аталған әдіс битпен (жұптық битін қолдану барысында) емес, сөзбен жұмыс істегендіктен, жұптығы өзгермейтін қателіктер сома мәнін өзгертеді, яғни анықталады деген сөз. Мысалы, егер кіші разрядтағы бит екі бөлек сөзде 0-ден 1-ге өзгерсе, бұл биттерді тексеру қателік туындатпайды. Бірақ 16-биттік бақылау сомасына екі бірлікті қоссақ, басқа нәтиже береді, қателік анық көрінеді.

Интернетте қолданылатын бақылау сомасы соманы 2^{16} модулі арқылы емес, кері код немесе бірге дейін арифметикалық толықтыру арқылы есептеледі. Кері код арифметикасында теріс сан өзінің оң эквивалентінің разрядтық толықтыруы болып саналады. Қазіргі жаңа компьютерлердің көпшілігі теріс сан бірлік қосу бір болатын екіге дейін толықтыратын арифметикамен жұмыс істейді. Екіге дейін толықтыратын арифметикасы бар компьютерлерде сома бірлікке дейін толықтыратынның сомасының 2^{16} модулі арқылы табуына эквивалентті және үлкен биттердің толып кетуі кіші биттерге қайта қосылады. Мұндай алгоритм деректерді біркелкі бақылау сомасымен қамтамасыз етеді. Кері жағдайда, екі үлкен битті қосу барысында толып кету сома өзгермеден жоғалуы мүмкін. Бірлікке дейін толықтырудың нөлді елестетуі екі түрлі болуы мүмкін: барлығы нөл және барлығы бір. Осылайша, бір мән (мысалы, барлығы нөлдер) бақылау сомасының жоқ екендігін және оған қосымша алаң қажет еместігін көрсетеді.

Ондаған жылдар бойы бақылау сомасы есептелетін кадрлар кездейсоқ бит мәнінен тұрады деген түсінік қалыптасқан болатын. Бақылау сомаларын есептеу алгоритмін талдау осы түсінік негізінде жасалып келген еді. Партридж және басқалары 1995 жылы зерттеген фактілік деректер осындай түсініктің қате екендігін көрсетті. Демек анықталмаған қателіктер кей жағдайда бұрынырақта ойлағаннан көбірек байқалып қалды.

Атап айтқанда, Интернеттің бақылау сомасы қарапайымдылығы және тиімділігіне қарамастан, қарапайым сома болғаны үшін белгілі жағдайларда қателіктерден әлсіз қорғайды. Ол нөлдік деректерді, хабарламаның бөлігі орындарымен ауысқанда немесе жапсырылғандар екі бөлек дестеде табылып, бөлшектенген кей жағдайларда қосу не өшіру мүмкіндігін бермейді. Мұндай қателіктер кездейсоқ процестерде орын алмайтындай көрінеді, бірақ дұрыс жұмыс істемейтін құрылғылары бар желілерде орын алуы мүмкін.

Жақсырақ таңдау Флетчер бақылау сомасы (Fletcher, 1982) болып табылады. Ол позицияға жауап беретін компонентті қосады: деректер мәні мен сәйкес позицияның көбейтіндісін ағымдағы сомаға қосады. Бұл деректердің орналасуындағы өзгерістерістерді анықтауға мүмкіндік береді.

Жоғарыда берілген екі схема кей жағдайларда жоғарғы деңгейлерде қолайлы болса да, тәжірибеде арналық деңгейде қателерді сенімді табатын CRC (Cyclic Redundancy Check – циклдық артық код) ретінде белгілі полиномиалды код әдісі қолданылады. Полиномиалдық код биттік қатарларды тек 0 не 1-ге тең коэффициентті көп мүше ретінде елестетуге негізделген. k битті кадр x^{k-1} -ден x^0 -ге дейінгі k мүшеден құралған көп мүше коэффициентінің $k-1$ дәрежесінің тізімі

ретінде қарастырылады. Кадрдың үлкен (солдағы бит) биті x^{k-1} коэффициентіне сәйкес, келесі бит x^{k-2} коэффициентіне сәйкес және т.б. Мысалы, 110001 саны 6 биттен тұрады, тиісінше 1,1,0,0,0,1 коэффициентті көп мүшенің бесінші дәрежесінде ұсынылады және $1x^5 + 1x^4 + 0x^3 + 0x^2 + 0x^1 + 1x^0$.

Аталған көп мүшелермен модуль 2 бойынша алгебралық өріс теориясына сәйкес арифметикалық амал орындалады. Қосу барысында көшіру және азайту барысында қарыз жасалынбайды. Қосу да, азайту да жоққа шығарушы НЕМЕСЕ-ге (XOR) тең.

$$\begin{array}{r}
 10011011 \\
 + 11001010 \\
 \hline
 01010001
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 00110011 \\
 + 11001101 \\
 \hline
 11111110
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 1110000 \\
 - 10100110 \\
 \hline
 01010110
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 01010101 \\
 - 10101111 \\
 \hline
 11111010
 \end{array}$$

Сандарды бөлу екілік сандарды бөлу секілді іске асады, бір ерекшелігі азайту қайтадан модуль 2 бойынша болады. Егер бөліндідегі бит бөлушідегідей болса, бөлуші бөліндіге кетеді деп айтылады.

Циклдық код қолдану барысында жіберуші мен қабылдаушы жасаушы көп мүше $G(x)$ жайлы келісімге келуге тиіс. Жасаушы көп мүшенің үлкен және кіші биттері 1-ге тең болуға тиіс. $M(x)$ көпмүшесіне сәйкес m битті кадрдың CRC-ін есептеу үшін кадр жасаушы көп мүшеден ұзынырақ болуға тиіс. CRC кадрының соңына қосу қабылданған көп мүше $G(x)$ жасаушы көп мүшеге қалдықсыз бөлінеді идеясына негізделген). Қабылдаушы бақылау сомасы бар кадрды қабылдағаннан соң, оны $G(x)$ -қа бөлуге тырысады. Бөліндіден нөлге тең емес қалдық қателердің болғандығын көрсетеді.

CRC кадрын есептеу алгоритмі төмендегідей болуы мүмкін:

1. $r - G(x)$ көп мүшесінің дәрежесі болсын. $x^r M(x)$ көп мүшесіне сәйкес $m + r$ биттен тұратындай кадр соңына r нөлдік битін қосамыз.
2. Биттік қатарды $x^r M(x)$ көп мүшесіне, биттік қатарға, $G(x)$ -қа сәйкес модуль 2 бойынша бөлеміз.
3. Биттік қатардан $x^r M(x)$ көп мүшесіне сәйкес бөлуден қалған қалдықты модуль 2 бойынша шегереміз. Нәтиже тасымалданған кадрға, яғни $T(x)$ деп аталатын көп мүшеге тең болады.

3.9-суретте 1101011111 кадры және жасаушы көп мүше $G(x) = x^4 + x + 1$ арасындағы есептеу көрсетілген.

$T(x)$ көп мүшесі (модуль 2 бойынша) $G(x)$ -қа қалдықсыз бөлінетіндігі анық. Кез келген жағдайда егер сіз бөлінді қалдықтан азайтсаңыз, нәтиже қалдықсыз бөлінуге тиіс. Мысалы, ондық есептеу жүйесінде 210278-ді 10941-ге бөлсек, 2399 қалдық қалады. Егер 2399-ды 210278-ден азайтсақ, нәтиже 207879 10941-ге қалдықсыз бөлінеді.

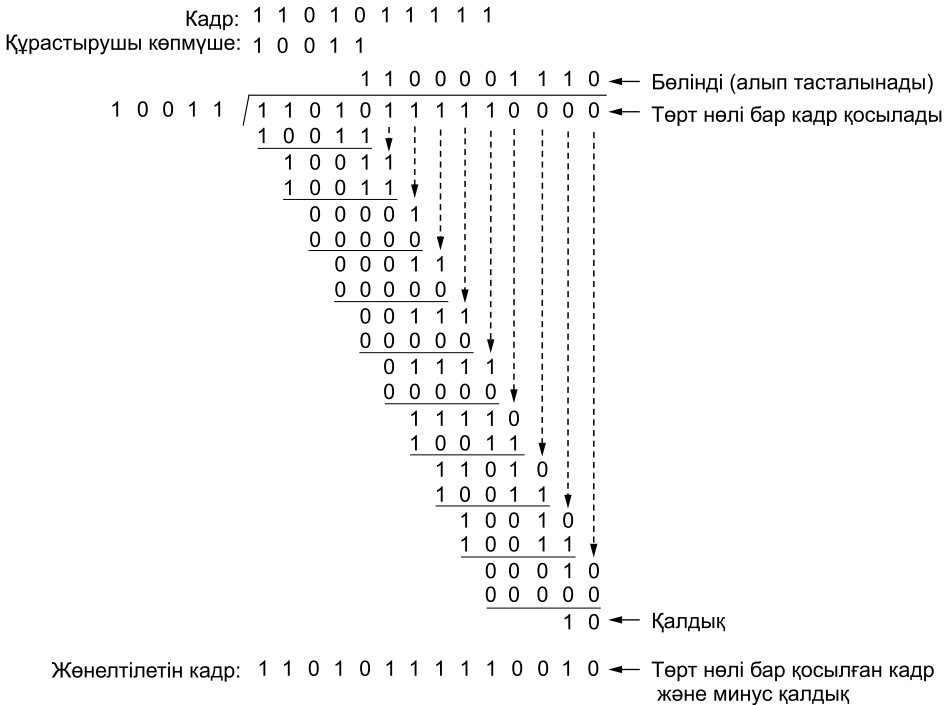
Енді осы әдістің мүмкіндігін қарастырайық. Ол қандай қателерді таба ала-

ды? Кадр тасымал барысында қателік орын алды деп есептелік және $T(x)$ көп мүшесімен бірге қабылдаушы $T(x)+E(x)$ қабылдады делік. Әр $T(x)$ көп мүшесінің бірлік биті дестедегі инверттелген битке сәйкес. Егер $E(x)$ көп мүшесінде k бит 1-ге тең болса, k бірлік қателігі орын алды деген сөз. Бірлік десте қателігі бірінші бірлікпен, нөлдер және бірлер қосындысымен және соңғы бірлікпен сипатталады, қалған биттер 0-ге тең.

Қабылдаушы бақылау сомасымен кадрды жасаушы $G(x)$ көп мүшеге бөледі, яғни ол $[T(x)+E(x)]/G(x)$ шамасын есептейді. $T(x)/G(x)$ нөлге тең, сондықтан есептеу нәтижесі жай ғана $E(x)/G(x)$ -қа тең. $G(x)$ жасаушы көп мүшесіне кездейсоқ еселі болатын қателіктер байқалмай қалады, ал қалған қателіктер анықталады.

Егер бірлік қателік орын алса, яғни $E(x) = x^i$, i – қате биттің нөмірін көрсетеді. Егер $G(x)$ жасаушы көп мүше екі не көп мүшеден құралса, $E(x)$ оған ешқашан қалдықсыз бөлінбейді, сондықтан барлық бірлік қателіктер анықталады.

Жекелеген екі бірлік қателіктер жағдайында $E(x) = x^i + x^j$, мұнда $i > j$, мұны $E(x) = x^j(x^{i-j} + 1)$ түрінде жазсақ болады. Егер $G(x)$ жасаушы көп мүшесі x -ке бөлінбейді десек, барлық екілік қателерді табудың шарты кез келген k -ға 1-ден $i-j$ максималды мәні, яғни кадрдың максималды ұзындығы үшін $x^k + 1$ көп мүшесінің $G(x)$ -қа бөлінбеуі жеткілікті болады. Ұзын кадрлардың қауіпсіздігін қамтамасыз ететін қарапайым көп мүшелер белгілі. Мысалы, $x^{15}+x^{14}+1$ көп мүшесі $x^k + 1$ -дің 1-ден 32768-ке дейін бөлінгіші емес.



3.9-сурет. CRC кадрын есептеудің мысалы

Егер қателік кадрдағы тақ санға тиіссе, $E(x)$ көп мүшесі тақ сан мүшелерінен құралады (мысалы, $x^5 + x^2 + 1$, бірақ $x^2 + 1$ емес). Арифметикалық амалдар жүйесінде тақ санды мүшелері бар көп мүшелер модуль 2 бойынша $x+1$ -ге бөлінбейді. Егер жасаушы көп мүшеге $x+1$ -ге бөлінетін көп мүше таңдап алсақ, онда оның көмегімен тақ инверттелген бит санынан тұратын барлық қателерді анықтауға болады.

Ең маңыздысы, r бақылау биті бар полиномалды код ұзындығы $\leq r$ барлық қателік дестесін табады. k ұзындықты қателік дестесі $x^j(x^{k-1} + \dots + 1)$ көп мүше түрінде беріледі, мұнда i қателік дестесі кадрдың оң жақ соңынан қаншалықты алыс орналасқанын анықтайды. Егер $G(x)$ жасаушы көп мүше x^0 мүшесінен тұрса, x^i оның көбейтіндісі болмайды, сондықтан егер жақшадағы өрнектің дәрежесі $G(x)$ -тан кіші болса, бөліндіден қалған қалдық ешқашан нөлге тең болмайды.

Егер қателік дестесінің ұзындығы $r+1$ -ге тең болса, бөліндіден қалған қалдық тек қателік дестесі $G(x)$ -қа ұқсас болғанда, 0-ге тең болады. Десте және қателік реттілігінің анықтамасына сәйкес, оның бірінші және соңғы биттері 1-ге тең болуы тиіс, сондықтан оның жасаушы көп мүшемен сәйкес келуі $r-1$ аралық битіне тәуелді. Егер барлық комбинацияны тең ықтималдылықты деп есептесек, анықталмайтын қателердің ықтималдылығы $(1/2)^{r-1}$ -ге тең.

$r+1$ биттен ұзынырақ қателік дестесі немесе бірнеше кіші десте пайда болғанда, қателерді өткізу ықтималдылығы барлық комбинациялар тең ықтималдылықты шартымен $(1/2)^r$ -ді құрайды.

Кейбір жасаушы көп мүшелер халықаралық стандартқа айналған. Мысалы, IEEE 802-де (ол Ethernet стандартына бастапқыда ұсынылған хаттамаға негізделген) қолданылатын көпмүше:

$$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

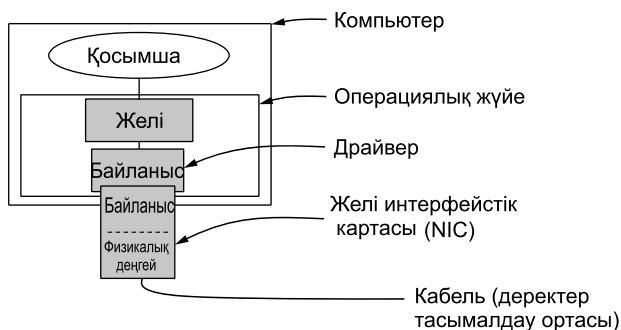
Оның басқа да пайдалы қасиеттерінің бірі – бұл көп мүше 32 биттен кем ұзындықтағы кез келген қателік дестесін, тақ бит санын беретін дестені анықтай алады. 1980 жылдардан бастап кең қолданысқа ие. Соған қарамастан, оны ең жақсы таңдау деп айта алмаймыз. Жағдайға қарай компьютерлік есептеу жасаған соң Кастаноли (Castagnoli және басқалары, 1993) мен Купман (Koorman, 2002) CRC-дің жақсырақ кодтарын тапқан. Қарапайым ұзындықтың хабарламасына сәйкес келетін Хэмминг қашықтығы олар үшін 6-ға тең, IEEE стандарты CRC-32 үшін Хэмминг қашықтығы 4-ке тең.

CRC алгоритмін есептеу күрделі көрінгенмен, Питерсон (Peterson) мен Браун (Brown) 1961 жылы регистрді жылжытуға негізделген CRC-ді санау және құрылғылық тексерістің қарапайым схемасын жасау мүмкін екендігін көрсетті. Бұл схема әлі күнге дейін тәжірибеде қолданылады. Барлық жергілікті желілер (Ethernet, 802. 11 сияқты), дыбыстық абоненттік жүйелерді (SONET байланысы арқылы тасымалданатын дестелер) қоса алғанда ондаған желілік стандарттар CRC коды негізінде жұмыс істейді

3.3. АРНАЛЫҚ ДЕҢГЕЙДЕ ДЕРЕКТЕР ТАСЫМАЛДАЙТЫН ҚАРАПАЙЫМ ХАТТАМАЛАР

Хаттамалармен танысуды өспелі мүмкіндігі бар үш хаттаманы қарастырумен бастаймыз. Хаттамаларды үйренуді бастамас бұрын, аталған байланыс моделінің негізінде жатқан бірнеше жорамалдарды айта кеткен жөн.

Бастапқыда физикалық, арналық және желілік деңгейлерде өзара хат жіберісетін тәуелсіз үрдістер жасалады деп болжамдаймыз. Әдеттегі жүзеге асыру *3.10-суретте* көрсетілген. Физикалық деңгейдің үрдістері мен арналық деңгейдің кей үрдістері Желілік интерфейстік карта (Network Interface Card, NIC) деп аталатын арнайы құрылғыда жұмыс істейді. Арналық деңгейдің қалған үрдістері мен желілік деңгейдің үрдістері орталық процессорда жұмыс істейді. Олар операцияндық жүйенің бөлігі болып табылады, әрі арналық деңгейдің үрдістерінің бағдарламалық қамтамасыз етушісі құрылғының драйвері пішінін алады. Бірақ басқа да жүзеге асыру түрлері бар (Мысалы, енгізу-шығару микросхемасында орналасқан үш процесс; желілік деңгей үрдістері тарапынан шақырылатын физикалық деңгей не арналық деңгей және т. б.). Қай жағдайда болмасын, үш деңгейді жеке үрдіс есебінде елестету талқылаудың тұжырамдамалық тазалығын сақтауға қызмет етеді және деңгейлердің тәуелсіздігін көрсетеді.



3.10-сурет. Физикалық, арналық, желілік деңгейлердің құрылысы

Келесі жорамал А машинасының В машинасына байланысқа бағытталған сенімді қызметті қолдану арқылы ұзын деректер ағымын жіберуге негізделеді. Кейінірек В машинасының А машинасына бір уақытта деректер тасымалдау жағдайын қарастырамыз. А машинасының жіберуге дайын шексіз деректер көзі бар және деректердің дайындығын ешқашан күту керек емес деп тұжырымдалады. А машинасының арналық деңгейі деректер сұрағанда, желілік деңгей әрдайым бере алады (Бұл шектеу де кейінірек алып тасталынады).

Тағы да компьютерлер істен шықпайды деп қарастырылады. Тасымал барысында қателіктер туындауы мүмкін, бірақ құрылғының сынуы немесе кездейсоқ істен шығу мәселесі емес.

Арналық деңгейді қарастыру барысында желілік деңгей интерфейсі арқылы тасымалданатын десте әр битты қабылдаушы машинаның желілік деңгейіне жеткізілуге тиіс таза дерек ретінде қарастырылады. Қабылдаушы машинаның желілік деңгейі дестенің кей бөлігін тақырып ретінде түсіну фактісінің арналық деңгейге қатысы жоқ.

Дестені алғаннан соң, арналық деңгей дестеден тақырып пен түйінқосу арқылы кадр құрастырады (3.1-суретіне қараңыз). Осылайша кадр енгізілген дестеден, біршама қызметтік ақпараттан (тақырыпта) және бақылау сомасынан (түйінде) тұрады. Сонан соң кадр қабылдаушы машинаның арналық деңгейіне тасымалданады. Кадрды жіберу үшін `to_physical_layer`, кадрды қабылдау үшін `from_physical_layer` сияқты тиісті кітапханалық процедуралар бар деп санайық. Бұл процедуралар бақылау сомасын есептейді, қосады немесе тексереді (көбінесе құралда жасалынады). Біз қарастырып жатқан хаттамадар ол жағын ойламаса да болады. Олар өткен бөлімде қарастырылған циклдық код алгоритмін қолдана алады.

Бастапқыда қабылдаушы еш нәрсе істемейді. Ол жұмыссыз, тек бір істің болатындығын күтіп отырады. Осы тарауда келтірілген дерек тасымалдау деңгейі оқиғаларының мысалдарында күту хаттамадары `wait_for_event (&event)` ретінде белгіленеді. Бұл процедура бір істер болғанда (Мысалы, кадрлар жеткенде) ғана басқаруды қайтарады. Сонымен қатар `event` айнымалысы не болып жатқандығын хабарлайды. Мүмкін болатын оқиғалар тізбегі әр хаттамада өзгеріп отырады, сондықтан әр хаттама үшін жеке суреттеледі. Атап өтерлік жайт, негізінде арналық деңгей бос оқиғаларды күту циклінде орналаспаған, тұжырымдағанымыздай оқиға орын алғанда тоқтайды. Сонымен қатар, ол өзінің ағымдағы үрдістерін тоқтатып, келген кадрды өңдейді. Қолайлы болуы үшін біз кей нақтылауларды ескермейміз және арналық деңгей бар уақытын бір арнамен жұмысқа арнайды деп болжаймыз.

3.1-листингі. Келесі хаттамаларға арналған жалпы хабарландырулар. Хаттамалар `protocol.h` файлында орналасады

```
#define MAX_PKT 1024                /*дестенің мөлшерін байт бойынша анықтайды*/
typedef enum {false, true} boolean; /*типі boolean*/
typedef unsigned int seq_nr;        /* кадрлар немесе растамалардың реттік нөмірі */
typedef struct {unsigned char data[MAX_PKT];} packet; /* дестені анықтау*/
typedef enum {data, ack, nak} frame_kind; /*дестенің типін анықтау*/
typedef struct {                    /* берілген деңгейде тасымалданатын кадрлар*/
frame_kind kind;                   /*кадр типі */
seq_nr seq;                        /* реттік нөмір*/
seq_nr ack;                        /*растау нөмірі*/
packet info;                       /* желілік деңгей дестесі*/
} frame;

/* Оқиғаны күту және event айнымалысына оқиғаның типін қайтару */
void wait_for_event(event_type *event);

/* Арна бойынша тасымалдау үшін желілік деңгейден дестені алу*/
void from_network_layer(packet *p);
```

```

/* Ақпаратты алынған дестеден желілік деңгейге тасымалдау*/
void to _network _layer(packet *p);

/* Физикалық деңгейден келген дестені алу және оны r-ге нұсқалау*/
void from _physical _layer(frame *r);

/* Кадрды физикалық деңгейге тасымалдау үшін жіберу*/
void to _physical _layer(frame *s);

/* Таймерді қосып, timeout оқиғасына рұқсат беру */
void start _timer(seq _nr k);

/*Таймерді тоқтатып, timeout оқиғасына тыйым салу */
void stop _timer(seq _nr k);

/*Қосалқы таймерді қосып, ack _timeout оқиғасына рұқсат беру*/
void start _ack _timer(void);

/* Қосалқы таймерді тоқтатып, ack _timeout оқиғасына тыйым салу*/
void stop _ack _timer(void);

/* Желілік деңгейге network _layer _ready оқиғасына сомдауға рұқсат беру */
void enable _network _layer(void);
/* Желілік деңгейге network _layer _ready оқиғасын сомдауға тыйым салу */
void disable _network _layer(void);

/*inc макросы тура жолдың өзінде жайылады. Шын мәнінде: k айнымалысын өсіру*/
#define inc(k) if (k < MAX_SEQ) k = k + 1; else k = 0

```

Қабылдаушы машина кадрды қабылдағанда, аппаратура оның бақылау сома-сын есептейді. Егер ол бұрыс болса (яғни, тасымал барысында қателік туындаса), арналық деңгей сәйкес ақпарат алады (*event=cksum_err*). Ал егер кадр бүтін күйінде жетсе, арналық деңгей тағы да хабардар болады (*event = frame_arrival*), осыдан кейін ол кадрды физикалық деңгейден *from_physical_layer* процедурасының көмегімен ала алады. Бұзылмаған кадр алу арқылы арналық деңгей кадрдың тақырыбында орналасқан басқару ақпаратын тексереді:егер кадр дұрыс болса,желілік деңгейге тасымалданады. Кадр тақырыбы еш жағдайда желілік деңгейге тасымалданбайды.

Кадр тақырыбын жіберуге тыйым салудың негізгі себебі – желілік деңгей мен арналық деңгейді айыруды толық қамтамасыз етуінде. Желілік деңгей кадрдың пішіні мен арналық деңгей хаттамасын білмейінше, пішін мен хаттама-ны өзгерту желілік деңгейдің бағдарламалық қамтамасыз етуде өзгерістер талап етпейді. Желілік деңгей мен арналық деңгейге арнайы интерфестер қолдану әр деңгей хаттамаларының тәуелсіз әрекет етуіне байланысты бағдарламаны жасауды жеңілдетеді.

3.1-листингінде талқылауға негіз болатын көпшілік хаттамаларға арналған ха-барландыру (C тілінде) көрсетілген. Бес дерек құрылысы анықталған: *boolean, seq_nr, packet, frame_kind* және *frame*. *boolean* типі true не false мағынасын қабылдатын

айнымалы, яғни санап шығарушы тип болып есептеледі. *seq_nr* типі кадрлардың нөмірлейтін таңбасыз бүтін болып табылады. Бұл тізбектес нөмірлер 0-ден MAX_SEQ-ті қоса санағандағы сандарды қабылдайды. *rasket* типі желілік деңгей мен арналық деңгейдің бір машинасы немесе екі тең дәрежелі желілік деңгей арасында алмасатын ақпараттағы бірлік ақпарат болып табылады. Біздің моделде десте әрдайым MAX_PKT байттан құралады, бірақ тәжірибеде ол айнымалы ұзындыққа ие.

frame құрылысы 4 өрістен тұрады: *kind*, *seq*, *ack* және *info* – алғашқы үшеуі басқарушы ақпараттан тұрса, соңғысы тасымалдануға тиіс деректен тұрады. Бұл үш басқарушы өріс бірге кадр тақырыбы деп аталады.

kind өрісі кадрдағы деректер жайлы хабар береді, кей хаттамалар тек басқару ақпараттары бар кадрды басқа деректері бар кадрдан айыра алады. *seq* және *ack* өрістері кадрдың нөмір тізбегін сақтау және растау үшін қолданылады. Олардың қолданылуы жайында кейінірек суреттейміз. Кадрдың дерек өрісі, *info*, бір дестеден құралған. Басқару кадрында *info* өрісі қолданылмайды. Шын өмірде басқару кадрында мүлдем кездеспейтін айнымалы ұзындықтағы *info* өрісі қолданылады.

Десте мен кадр арасындағы байланысты түсіну маңызды. Желілік деңгей дестені жасайды, транспорттық деңгейден хабарлама алып, желілік деңгейдің тақырыбын қосады. Бұл десте арналық деңгейге тасымалданады, дестені шығатын кадрдың *info* өрісіне арналық деңгей қосады. Кадр белгіленген жерге жеткенде, арналық деңгей кадрдан дестені шығарады және желілік деңгейге тасымалдайды. Осылайша, желілік деңгейде машиналар өзара тікелей десте алмастырғандай әрекет жасайды.

3.1-листингінде бірқатар процедуралар тізбегі берілген. Бөлшегі белгілі бір іске асыруға бағынышты бұл кітапханалық процедураларды және ішкі құрылғыларын біз қарастырмаймыз. Жоғарыда атап көрсеткендей, *wait_for_event* процедурасы бір оқиғаның болуын күтетін бос цикл болып саналады. *to_network_layer* және *from_network_layer* процедуралары арналық деңгейден желілік деңгейге десте жіберуге және желілік деңгейден дестелер алуға қолданылады. Назар аударыңыз, *from_physical_layer* мен *to_physical_layer* арналық деңгей мен физикалық деңгей арасында кадр алмастыруға қолданылса, *to_network_layer*, *from_network_layer* процедуралары арналық деңгей мен желілік деңгей арасында дестелер алмастыруда қолданылады. Басқаша айтқанда, *to_network_layer*, *from_network_layer* процедуралары 2 және 3 деңгей арасындағы интерфейске жатса, *from_physical_layer* мен *to_physical_layer* 1 және 2 деңгей интерфейстеріне жатады.

Көптеген хаттамаларда кездейсоқ кадрды жоғалтатын сенімсіз арналар қолданылуы жорамалданады. Мұндай жағдайларды жөндеу үшін арналық деңгей кадрды жібергенде таймерді қосады. Егер белгіленген уақытта жауап алынбаса, таймер мұны тайм-аут есебінде қарастырады және арналық деңгей бұзылу сигналын алады.

Біздің хаттама мысалдарында бұл *wait_for_event* процедурасы қайтаратын *event=timeout* негізінде іске асырылған. Таймерді қосу және тоқтату үшін *start_timer*, *stop_timer* процедуралары қолданылады. *timeout* оқиғасы тек таймер

қосылғанда өрбиді. *start_timer* процедурасы жұмыс істеп тұрған таймер уақытында қосу рұқсат етіледі. Мұндай шақыру есепті қайта бастау үшін сағатты қайта бастады (жаңа тайм уақытқа дейін, егер мұндай болатын болса).

start_ack_timer және *stop_ack_timer* процедуралары ерекше жағдайларда көмекші таймерлердің растама жасауын басқару үшін қолданылады.

enable_network_layers, *disable_network_layers* процедуралары желілік деңгейде әрдайым десте жіберіледі деп тұжырымдалмайтын күрделі хаттамаларда қолданылады. Арналық деңгей желілік деңгейдің жұмыс істеуіне рұқсат бергенде, соңғысы десте жіберу керек болғанда, біріншінің жұмысын тоқтатуға мүмкіндік алады. Мұндай шараны *event=network_layer_ready* деп белгілейміз. Желілік деңгей өшкенде, ол мұндай шараны бастата алмайды. Желілік деңгейдің қосылу, өшірілуін бақылау арқылы арналық деңгей өзін буферде орын жоқ дестелермен толтыруға мүмкіндік бермейді.

Кадрдың реттік нөмірлері 0-ден MAX_SEQ (қоса) аралығында болады. MAX_SEQ саны әр хаттамада әркелкі. Кадр реттілігі нөмірлерін 1 циклға (MAX_SEQ-қа жеткенде, бастапқы мәніне барады) ұлғайту үшін inc макросы қолданылады. Ол бағдарламадағы тез әрекет ету маңызды әрекет саналатын макрос күйінде анықталады. Осы кітаптың кейінгі бөлігінде көретініміздей, желінің өнімділігі дестелердің тез әрекет етуіне қарай шектеледі. Қарапайым амалдарды макрос түрінде анықтау бағдарламаның тез әрекет етушілігін арттыру арқылы жеңіл оқылуын кемітпейді.

3.1-листингінде хабарлау барлық келесі хаттамалардың бөлігі болып табылады. Орынды үнемдеу және сілтеме ыңғайлығы үшін олар бірге жинақталған, негізі олар хаттамалармен бірігу керек. C тілінде мұндай бірігулер анықталатын деректер орналасатын protocol.h файлына сілтеме көрсету арқылы #include препроцессор директивасы көмегімен жасалады.

3.3.1. «Утопия» симплексті хаттамасы

Мысал ретінде ең қарапайым хаттаманы қарастырайық. Деректер тек бір бағытта тасымалданады, ол қандай да бір қателік орын алады деп ойламайды да. Жіберуші мен қабылдаушы машинаның желілік деңгейлері әрдайым дайындықта. Өндеу уақытын есептемеуге болады. Буфердің көлемі шексіз. Ең жақсысы, арналық деңгейлер арасындағы байланыс арнасында кадрлар ешқашан жоғалмайды және бұзылмайды. 3.2-листингінде көрсетілген бұл шындыққа жанаспайтын хаттама «Утопия» деп аталады. Ол нағыз хаттама құрудың негізгі базалық құрылысын көрсетеді.

Хаттама *sender1* (жіберуші) және *receiver1* (қабылдаушы) деген 2 процедурадан тұрады. *sender1* процедурасы жіберуші машинаның, ал *receiver1* процедурасы қабылдаушы машинаның арналық деңгейінде жұмыс істейді. Не реттік нөмір, не растама қолданылмайды, сондықтан MAX_SEQ қажет емес. Мүмкін болатын жалғыз оқиға *frame_arrival* (бұзылмаған кадрдың келуі).

sender1 процедурасы *while* операторынан басталып, желіге максималды жылдамдықпен дерек жіберетін шектеусіз циклдан тұрады. Цикл денесі 3 әрекеттен тұрады: желілік деңгейден дестені қабылдау (әрқашан міндетті), *s* айнымалысының көмегімен шығатын дестені құрастыру және дестені адресатқа жіберу. Кадрдың қызметтік өрісінен тек *info* өрісі қолданылады, өйткені қалған өрістер аталған хаттамада қолданылмайтын қателерді өңдеу және ағындарды басқаруға қатысты.

Қабылдаушының процедурасы еш қиын емес. Бастапқыда бір істің жүзеге асуын күтеді, мүмкін болатын іс бұзылмаған дестені қабылдау. Десте пайда болғанда, *wait_for_event* процедурасы басқаруды қайтарады, сонымен қатар, *event* айнымалысы *frame_arrival* (бәрібір есепке алынбайды) мәніне тең болады. *from_physical_layer* процедурасын шақыру жаңа келген кадрды аппараттық буферден өшіріп, *r* айнымалысына орналастырады. Ақыры деректер желілік деңгейге тасымалданады, ал арналық деңгейге келесі кадрды жіберуді күту қалады.

3.2-листинг. «Утопия» шектеусіз симплексті хаттамасы

```

typedef enum {frame_arrival} event_type;
#include «protocol.h»

void sender1(void)
{
    frame s;                               /*Шығыстағы кадрге арналған буфер*/
    packet buffer;                          /*Кірістегі кадрге арналған буфер */

    while (true) {
        from_network_layer(&buffer);        /* дестені тасымалдау үшін желілік
                                                деңгейден алу */
        s.info = buffer;                    /*тасымалдау үшін оны s кадріне
                                                нұсқалау*/
        to_physical_layer(&s);              /* s кадрын жөнелту*/
    }                                       /* Күн сайын біз «Ертең, ертең
                                                және ертең» – деп сыбрлаймыз.
                                                Осылайша өмір
                                                ақырындап өтіп жатыр. Макбет, V, v */
}

void receiver1(void)
{
    frame r;
    event_type event;                       /*оқиғаны күту процедурасымен
                                                толықтырылады, бірақ бұл жерде
                                                қолданылмайды*/

    while (true) {
        wait_for_event(&event);            /* жалғыз мүмкін болатын оқиға – кадрдың
                                                келуі, оқиға*/
        from_physical_layer(&r);           /* келген кадрді алу*/
        to_network_layer(&r.info);        /* деректерді желілік деңгейге жіберу*/
    }
}

```

«Утопия» хаттамасы не деректерді басқара алмағандықтан, не қателерді жөндей алмайтындықтан, мүмкін емес. Оның жұмыс қағидасы барлық мәселелер жоғарғы деңгейлерде шешіледі деп есептейтін растаусыз байланыс құрмайтын қызметке ұқсас. Соған қарамастан, қызметтің бұл түрі қателерді анықтайтын кейбір қабілетке ие.

3.3.2. Қателіксіз арналарға арналған күтуші симплексті хаттама

Біз енді хаттама 1-де қолданылған ең негізсіз тұжырымдаманы алып тастаймыз: қабылдаушы желілік деңгейдің келген деректерді тез өңдеу қабілеті. Жіберуші қабылдаушы өңдеп үлгермейтіндей көп дерек жіберуі жиі орын алатын жағдай. Мұндай істердің алдын алу өте маңызды. Байланыс арнасында қателік жоқ деген болжам сақталады. Байланыс желісі симплексті болып қалады.

Шешімнің бірі – қабылдаушының үздіксіз кадр реттілігі ағынын өңдеу күшін жететіндей етіп құрастыру (немесе қабылдаушыда артық жүк туындатпас үшін ақпаратты соншалықты баяу жіберетіндей етіп арналық деңгейді анықтау). Қабылдаушының үлкен көлемді буфері болуға тиіс, ал оның жылдамдығы деректерді тасымал жылдамдығынан кем болмау керек. Одан басқа, ол кадрларды желілік деңгейге жылдам беруге тиіс. Бұл мүмкін шешімдердің ең жаманы. Оған арнайы қондырғы қажет, егер желі әлсіз жүктелсе, ресурстар босқа жұмсалады. Одан басқа, ол кадрларды жылдам тасымал жұмысын жай ғана басқаларға аударады: аталған жағдайда мәселені желілік деңгей шешеді.

Аталған мәселенің ең жақсы шешімі қабылдаушы тарапынан кері байланыс болып табылады. Дестені желілік деңгейге тасымалдап, қабылдаушы жіберушіге кішірек басқару дестесін жібереді, осылайша келесі кадрды жіберуге рұқсат береді. Жіберуші кадрды жіберген соң, келесі кадрды жіберуге рұқсат күтеді. Мұндай кешігу-ағынды басқару хаттамасының ең қарапайым мысалы.

Жіберуші бір кадр жіберіп, растамасын күтетін хаттаманы **күтуші хаттама (stop and wait)** деп атайды. *3.3-листингіде* күтуші симплексті хаттама мысалы көрсетілген.

Бұл мысалда деректерді жеткізу симплексті қағида бойынша іске асса да, кадр жіберушіден қабылдаушыға екі бағытта тасымалданады. Сәйкесінше, екі арналық деңгей арасындағы байланыс арнасыекі тарапта ақпаратты жібере алуға тиіс. Бірақ аталған хаттама жіберу бағытының кезектесуін басқарады: басында жіберуші кадр жібереді, сосын қабылдаушы, кейін қайтадан жіберуші, кейін қабылдаушы, т.б. Мұны жүзеге асыру үшін жарты дуплексті физикалық арна жеткілікті болар еді.

Хаттама 1-дегідей, жіберуші циклдың басында желілік деңгейден десте алады, одан кадр жасап, байланыс желісі бойынша кадрды жібереді. Бірақ хаттама 1-ден айырмашылық – жіберуші келесі цикл итерациясына кіріспес бұрын растама кадрын күтіп, желілік деңгейді келесі десте үшін шақырады. Аталған моделде жіберушінің арналық деңгейі желі бойынша қабылданған кадрды қарай алмайды: оның құрамы маңызды емес, кадр дегеніміз тек растама.

receiver 2-нің receiver 1-ден айырмашылығы дестені желілік деңгейге тасымалдаған соң receiver 2 жіберушіге растама кадрын жібереді, осыдан соң келесі цикл итерациясына кетеді. Жіберушіге кадрдың құрамы емес, тек жауап кадры келуі маңызды болғандықтан, қабылдаушы кадрды арнайы ақпаратпен толтыруы шарт емес.

3.3.3. Шулы арналар үшін күтуші симплексті хаттама

Енді шынайы жағдайды қарастырайық, қтаеліктер болып, кадрлар жоғалып не бүлінетін арна. Бірақ біз кадр тасымал барысында бүлінетін болса, қабылдаушы құрылғы бақылау сомасын есептеу арқылы анықтайды деп есептейміз. Егер бақылау сомасы сәйкес келіп, кадр бүлінсе, бұл протокол (кез келген хаттама) желілік деңгейге бұрыс десте тасымалдауда.

3.3-листингі. Күтуші симплексті хаттама

/ 2-хаттама (күтуші) ол да жіберушіден алушыға бір жақты тасымалдауды қамтамасыз етеді. Бұл жерде де байланыс арнасында қате жоқ деп есептеледі. Бірақ бұл жағдайда буфердің сыйымдылығы шектеулі және сонымен қатар, қабылдайтын деректі өңдеудің жылдамдығы аз. Сондықтан хаттама жіберілген деректі өңдеудің жылдамдығы алынатын деректің өңдеу жылдамдығынан аспағанын қадағалап отыруы керек.*/**

```
typedef enum {frame_arrival} event_type;
#include «protocol.h»
```

```
void sender2(void)
{
    frame s;                               /* шығатын кадрге арналған буфер*/
    packet buffer;                          /* шығатын дестеге арналған буфер */
    event_type event;                       /* бір ғана мүмкін болатын оқиға – кадрдың
                                             келуі (frame_arrival оқиғасы) */

    while (true) {
        from_network_layer(&buffer);       /*тасымалдау үшін дестені желілік
                                             деңгейден алу*/
        s.info = buffer;                   /*оны s кадріне нұсқалау*/
        to_physical_layer(&s);             /*кішкене кадр, сау бол*/
        wait_for_event(&event);           /*рұқсат болмағанша ешнәрсе істемеу*/
    }
}

void receiver2(void)
{
    frame r, s;                             /*кадрлерге арналған буферлер*/
    event_type event;                       /*frame_arrival мүмкін болатын жалғыз оқиға*/

    while (true) {
        wait_for_event(&event);           /* бір ғана мүмкін болатын оқиға – кадр-
                                             дың келуі (frame_arrival оқиғасы)*/
        from_physical_layer(&r);          /* жеткен кадрды алу*/
    }
}
```



```

to_network_layer(&r.info);           /*деректкерді желілік деңгейге жіберу*/
to_physical_layer(&s);               /*жіберушіні ояту мақсатында бос
кадрды тасымалдау*/
}
}

```

Мысалда деректерді тасымалдау симплекс принципі арқылы жүзеге асқанымен, тек жіберушіден алушыға, шын мәнісінде кадрлар екі бағытта да қозғалады. Қабылдаушы дұрыс деректі қабылдағанда ғана растама қайтарады. Бұрыс дестелер назарға алынбайды. Біраз уақыттан соң жіберушінің уақыты өтіп, ол кадрды қайта жібереді. Бұл құбылыс кадр бүтін күйінде тасымалданғанша, жалғаса береді.

Жоғарыда берілген схеманың бір үлкен кемшілігі бар. Әрі қарай жалғастырмастан бұрын аталған алгоритмде қандай қателік бар екендігін түсінуге тырысыңыздар.

Хаттаманың бұл түрінің ннеге нашар екендігін ұғыну үшін арналық деңгейдің мақсаты желілік деңгейдің екі үрдісінің арасында таза байланыс көрсету екендігін естеріңе түсіріңдер. А машинасының желілік деңгейі В машинасының желілік деңгейіне бірдей пакет топтамасын тасымалдауға кепілдік беретін өзінің арналық деңгейіне десте топтамасын тасымалдайды. Атап айтқанда, В машинасының желілік деңгейі дестенің жетпеуін немесе дестенің қосарлануын анықтай алмайды, сондықтан арналық деңгей ешбір жағдайда дестенің қосарланбауына кепілдік беру керек.

Келесі сценарийді қарастырайық.

1. А машинасының желілік деңгейі өзінің арналық деңгейіне десте 1-ді тасымалдайды. Десте В машинасына бүтін күйде жетеді және оның желілік деңгейіне тасымалданады. В машинасы А машинасына қайта растама жібереді.
2. Растама кадрды байланыс арнасында толығымен жоғалады. Ол А машинасына еш жете алмайды. Егер тек басқарушы емес, акпараттық кадрлар жоғалғанда, жағдай оңайырақ болар еді, бірақ байланыс арнасы олардың айырмашылығына қарамайды.
3. А машинасының арналық деңгейінің бөлінген уақыт аралығы өтіп кетеді. Растама алмағандықтан, ол кадрды бүлінді не жоғалды деп шамалап, кадрды қайта жібереді.
4. В машинасына кадрдың дубликаты бүтін күйінде келіп, желілік деңгейге тасымалданады. Егер А машинасынан В машинасына тасымалдаған файлдарының кей бөлігі осылайша қосарланса, В машинасындағы файл көшірмесі бұрыс болады. Басқаша айтқанда, хаттама қателік жіберді.

Қабылдаушы жаңа кадрды қайта тасымалданған кадрдан айыра алатындай механизм қажет екендігі түсінікті. Аталған мәселенің ең нақты шешімі кадрдың тақырыбына жіберушінің реттік нөмір қоюы болып табылады. Қабылдаушы кадрдың нөмірі бойынша, жаңа кадрды дубликаттан ажырата алады.

Хаттама нейтралды және тиімді болу керек болғандықтан, кадрдың тақырыбында орын бөлу құпталмайтын іс. Туындайтын сұрақ: кадрдың реттік

нөміріне қажетті минималды бит саны қанша? Тақырыпта 1 бит, бірнеше бит, 1 байт немесе бірнеше байт бөлуге болады. Хаттаманың дұрыс жұмыс істеуі үшін реттік нөмірлердің қажетінше үлкен болуы маңызды немесе хаттаманың еш маңызы қалмайды.

Орын алуы мүмкін белгісіздік m және келесі $m+1$ кадрларының арасында орын алуы мүмкін. Егер m кадры жоғалса не бүлінсе және қабылдаушы растама жібермесе, жіберуші қайтадан жібереді. Кадр сәтті қабылданғанда, қабылдаушы растама жібереді. Маңызды мәселенің негізі осында жатыр. Растама алу, алмауына қарай, жіберуші m немесе $m+1$ кадрларын жібере алады.

$m+1$ кадрының тасымалын бастайтын жіберуші тараптағы оқиға m кадрының қабылданғандығы жайлы растама келуі. Бұл $m-1$ кадры жіберіліп, қабылданды және растама келді деген сөз. Кері жағдайда, хаттама жаңа кадр жібермес еді. Сәйесінше, белгісіздік көрші екі кадрдың арасында орын алуы мүмкін.

Осылайша, бір бит ақпарат жеткілікті болады (0 немесе 1 мәніндегі). Уақытың әр тілімінде қабылдаушы белгілі реттік нөмірі кадрдың келуін күтеді. Дұрыс нөмірлі кадр қабылданып, желілік деңгейге жіберіледі, сосын қабылданғандығы жөнінде растама жіберіледі. Келесі күтілетін кадрдың нөмірі модуль 2 бойынша өседі (яғни 0 1-ге, 1 0-ге айналады). Бұрыс нөмірлі кадр дубликат есебінде лақтырылады. Соңғы растама кадр толығымен қабылданғандығын жіберушіге білдіру үшін қайталанады.

Осындай хаттаманың мысалы 3.4-листингінде көрсетілген. Келесі кадрды жіберместен бұрын жіберушінің оң растама күтуін көбінесе **PAR (Positive Acknowledgement with Retransmission- қайта тасымалдаумен оң растама)** немесе **ARQ (Automatic Repeat reQuest- қайта тасымалды автоматты сұрау)** деп аталады. Хаттама 2 секілді, ол да деректерді бір бағытта тасымалдайды.

Хаттама 3 өзінің алдыңғыларынан жіберуші мен қабылдаушы кадр нөмірлерін есте сақтау арқылы ерекшеленеді. Жіберуші келесі кадр нөмірін *next_frame_to_send* айнымалысында сақтаса, қабылдаушы күтілетін келесі кадрдың нөмірін *frame_expected* айнымалысында сақтайды. Әр процедураның шектеусіз циклынан бұрын қысқа фаза инициализациясы орналасады.

Кадрды жіберген соң, жіберуші таймерді іске қосады. Егер таймер қосылып қойылған болса, ол жаңа уақытты санауға ыңғайланады. Уақыт ең жаман жағдайда кадр қабылдаушыға жетіп, қабылдаушы кадрды өңдеп, жіберушіге растама жіберетіндей етіп таңдалынады. Бекітілген уақыт өткеннен кейін ғана кадр немесе кадрдың растамасы жоғалғанын айта аламыз, бұл дубликат жіберуді қажет етеді. Егер тайм-аут басталмастан бұрынғы уақыт өте қысқа болса, жіберуші машина қажетсіз көп кадрды қайта жібереді. Артық кадрлар деректің дұрыс қабылданғандығына әсер етпесе де, жүйенің өнімділігіне әсер етеді.

Кадрды тасымалдаған соң жіберуші таймерді қосады және оқиғаның орын алуын күтеді. Үш жағдай орын алуы мүмкін: не бүлінбеген кадр растамасы келеді, не бүлінген кадр растамасы қабылданады немесе уақыт аралығы өтіп кетеді. Бірінші жағдайда жіберуші желілік деңгейден келесі дестені алып, буферге салады және ескі дестенің үстіне қояды. Одан басқа ол кадрдың реттік нөмірін

үлкейтеді. Егер бүлінген кадр растамасы келсе не уақыт өтіп кетсе, кадрдың дубликаты жіберіледі. Бәрібір кейіннен буфердің құрамы жіберіледі (не келесі десте не алдыңғының дубликаты).

Бүлінбеген кадр қабылдаушыға жеткенде, оның нөмірі тексеріледі. Егер дубликат болмаса, кадр қабылданып, желілік деңгейге тасымалданады, осыдан кейін растама құрастырылады. Дубликаттар мен бүлінген кадрлар желілік деңгейге қабылданбайды, бірақ соңғы дұрыс кадрдың келгендігін растайтын растама алынғанда, келесі кадрға көшу керек не бүлінген кадрды қайта жіберу керек.

3.4 СЫРҒЫМАЛЫ ТЕРЕЗЕ ХАТТАМАСЫ

Алдыңғы хаттамаларда ақпараттық кадрлар тек бір бағытта тасымалданды. Көптеген практикалық жағдайларда деректерді тасымалдау екі бағытта жүзеге асу керек болады. Дуплексті деректерді тасымалдауды алудың бір әдісі деректер қарама-қарсы екі бөлек симплексті байланыс арналарын құруға негізделген. Осылайша, әрқайсысы деректерге тікелей канал, растамаға кері арнасы бар екі бөлек физикалық арна шығады. Қос жағдайда да кері арналардың өткізгіштік қасиеті қолданылмайды. Нәтижесінде, қолданушы екі арнаға төлеп, бір арнаның сыйымдылығын қолданады.

Бір арналы екі бағыттағы деректерді тасымалдауда қолдану дамыған идея болып көрінеді. 2, 3-хаттамаларда кадрлар арна арқылы екі бағытта тасымалданатын, ал кері арна тікелей арна сияқты өткізгіштік қасиетке ие. Мұндай моделдерде А машинасынан В машинасына кететін кадр А-дан В-ға кететін растама кадрларымен араласады. Қабылдаушы кадр тақырыбындағы kind өрісі арқылы дерекпен кадрларды растама кадрларынан айыра алады.

Растама кадрлары мен ақпараттық кадрлар кезектестіруден басқа хаттаманы жақсартудың басқа жолдары бар. Деректермен кадрды алғаннан соң, қабылдаушы бірден растама кадрын жібермеуі мүмкін, желілік деңгей келесі дестені бермейінше, күте тұрады. Растама шығатын ақпараттық кадрдың кадр тақырыбына ask өрісі арқылы қосылады. Нәтижесінде, растауды тасымалдауға еш ресурс қолданылмайды. Мұндай техника **piggybacking (қосылған тасымал)** деп аталады.

Тікелей және кері дестені тасымалдаудың біріктірудің негізгі артықшылығы арнаның өткізгіштік қасиетін тиімді қолдануда. Кадр тақырыбындағы ask өрісі бірнеше бит орын алады, ал жеке кадр тақырып пен бақылау сомасын қажет етеді. Одан басқа келген кадрлардың саны қаншалықты аз болса, осы оқиғамен байланысты жұмыс бағдарламасының кідірісі соншалықты аз қабылдаушының буфері аз болуы мүмкін (қабылдаушының бағдарламалық қамтамасыз етуін ұйымдастыру әдісіне байланысты). Біз қарастыратын келесі хаттамада тікелей және кері дестелерді біріктіріп жіберуге кететін шығын 1 бит тақырып кадрынан тұрады. Бұл шығындар бірнеше биттен аз ғана асады.

Тікелей және кері дестелерді тасымалдауды біріктіруде хаттамаларда жаңа

мәселелер туындайды. Арналық деңгей растама жіберілуге тиіс қанша уақыт дестені күту керек? Егер арналық деңгей жіберушіге қарағанда ұзағырақ күтсе, соңғысы кадрды қайта жібереді, бұл қолайсыз. Егер арналық деңгей болашақты болжай алса, ол дестені күту керек не жеке кадрмен растама жіберу керектігін білер еді. Бұл, әрине, мүмкін емес, сондықтан тағы қосымша күту аралығын орнату керек (жіберушінің күту аралығына қарағанда азырақ), уақыт өткеннен соң, растама жеке кадрмен жіберіледі. Егер желілік деңгей арналық деңгейге десте жіберіп үлгерсе, растама бір кадрда осы дестемен бірге жіберіледі.

3.4-листингі. Оң растамалы және қайта тасымалданушы хаттама

```

/* 3-хаттама (PAR) деректерді сенімсіз арна арқылы симплексті тасымалдауды қамтамасыз етеді*/

#define MAX_SEQ1                               /*хаттама 3-те тек 1 ғана болуы керек*/
typedef enum {frame_arrival, cksum_err, timeout} event_type;
#include «protocol.h»

void sender3(void)
{
    seq_nr next_frame_to_send;                 /* келесі шығыстағы кадрдың реттік нөмірі*/
    frame s;                                   /* уақытша айнымалы */
    packet buffer;                             /* шығыстағы дестеге арналған буфер*/
    event_type event;

    next_frame_to_send = 0;                   /* шығыстағы тізбекті нөмірлердің аталуы*/
    from_network_layer(&buffer);             /* желілік деңгейден бірінші дестені алу*/
    while (true) {
        s.info = buffer;                     /* тасымалдау үшін кадрды қалыптастыру*/
        s.seq = next_frame_to_send;          /* кадрге реттік нөмірді орналастыру*/
        to_physical_layer(&s);               /* кадрды арна бойымен жөнелту*/
        start_timer(s.seq);                  /* растауды күтуші таймерді іске қосу*/
        wait_for_event(&event);             /* frame_arrival, cksum_err, timeout оқиғаларын күту*/

        if (event == frame_arrival) {
            from_physical_layer(&s);         /* растауды алу */
            if (s.ack == next_frame_to_send) {
                stop_timer(s.ack);           /* таймерді алып тастау */
                from_network_layer(&buffer); /* желілік деңгейден келесі дестені алу*/
                inc(next_frame_to_send);     /* айнымалының мәнін инверсиялау*/
            }
        }
    }
}

void receiver3(void)
{
    seq_nr frame_expected;
    frame r, s;
    event_type event;

    frame_expected = 0;

```

```

while (true) {
    wait_for_event(&event);           /* мүмкін болатын frame_arrival,
                                        cksum_err * оқиғаларды күту */
    if (event == frame_arrival){     /* ақауланбаған кадр келді*/
        from_physical_layer(&r);     /* келген кадрды алу */
        if (r.seq == frame_expected){ /* осы кадр күтілген еді*/
            to_network_layer(&r.info); /* деректерді желілік деңгей арқылы
                                        тасымалдау */
            inc(frame_expected);     /*келесі жолы реттік нөмірі басқа кадрды күту*/
        }
        s.ack = 1 - frame_expected;  /* растануы тасымалданған кадрдың
                                        реттік нөмірі */
        to_physical_layer(&s);       /* өрістің ешқайсысы қолданылмайды */
    }
}
}
}

```

Келесі үш хаттама екі бағытты болып табылады және **сырғымалы терезе (sliding window)** хаттамаларының сыныбына кіреді. Әрі қарай көрсетілгендей, олар бір-бірінен тиімділік, қиындық және буфер мөлшеріне талап бойынша ерекшеленеді. Сырғымалы терезе хаттамаларында шығатын кадрдың реттік нөмірі болады (0-ден белгілі максимумға дейін өзгереді). Мұндай нөмірге n бит көлеміндегі өріс бөлінгендіктен, нөмірдің максималды мәні тең. Күтуші сырғымалы терезе проколдарында өріске бар болғаны бір бит бөлінеді, бұл реттік нөмір мәнін 0 және 1-мен шектейді, бірақ күрделілеу нұсқаларда n -нің туынды мәні қолданылады.

Барлық сырғымалы терезе хаттамаларының мәні уақыттың кез келген бөлігінде жіберуші жіберуге рұқсат етілген кадрларға сәйкес келетін белгілі реттік нөмірлермен жұмыс істейді. Бұл кадрлар жіберуші терезеге түседі. Осыған ұқсас, қабылдаушы қабылдайтын тереземен, қабылдай алатын кадр тобымен жұмыс істейді. Қабылдаушы мен жіберушінің терезелерінің бірдей төменгі және жоғарғы мәндері болуы, бірдей көлемде болуы шарт емес. Кей хаттамалардың көлемі тұрақты болса, кейбірінікі қабылдау немесе жіберуге байланысты үлкейіп, кішірейе алады.

Осы хаттамалар арналық деңгейге кадрды тасымалдау мен қабылдау реттілігінде кеңшілік бергенімен, қабылдаушы машинаның желілік деңгейіне дестелерді жеткізуге талап реттілігі жіберуші машинаның желілік деңгейінен алған реттілігі бойынша сақталады. Кадрды жеткізу реттілігіне қатысты физикалық деңгейге ұқсас талап сақталады. Бұл, физикалық деңгей сым сияқты қызмет атқарады: барлық кадрларды жіберілген реттілік бойынша жеткізеді.

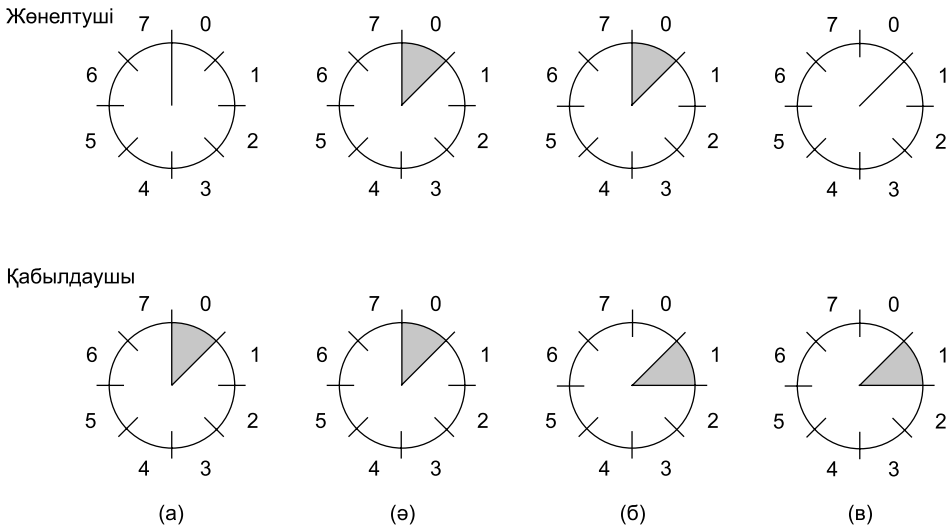
Жіберушінің терезесіндегі реттік нөмір жіберілген бірақ растама әлі келмеген кадрдың нөміріне сәйкес келеді. Желілік деңгейден алынатын дестеге ең үлкен реттік нөмір беріледі, терезенің жоғарғы мәні бірге артады. Растама түскен кезде, терезенің төменгі шегі бірге кемиді. Осылайша, терезе әрқашан растаусыз кадрлардың тізімінен тұрады.

Жіберушінің терезесіндегі кадрлар тасымал барысында бұліну не жоғалу

қауіпіне байланысты, жіберуші оларды мүмкін болатын қайта тасымал үшін жадында сақтау керек. Осылайша, кадрдың максималды көлемі n болса, жіберушіге растаусыз кадрларды сақтау үшін n буфер қажет болады. Егер терезе максималды көлемге жетсе, арналық деңгей буфер босағанға дейін желілік деңгейді өшіруге тиіс.

Арналық деңгейдің қабылдаушысының терезесі қабылдайтыналатын кадрларға сәйкес болу керек. Терезеге түспейтін кез келген кадр ешқандай түсініктемесіз есепке алынбайды. Терезенің төменгі шегіне сәйкес келетін реттік нөмірі бар кадр келгенде, кадр желілік деңгейге жіберіледі, растама құрылып, терезе бір орынға жылжиды. Жіберушінің терезесінен ерекшелігі қабылдаушының терезесі алғашқы көлемін сақтайды. Бірдей көлемдегі терезенің арналық деңгейі белгіленген реттегі кадрларды ғана қабылдайды, бірақ үлкен көлемдегі терезелерде жағдай өзгеше. Деректер арналық деңгейдің терезесінің көлеміне қарамастан, қатаң реттілікте ұсынылады.

3.11-суретте максималды көлемі 1 болатын терезенің мысалы көрсетілген. Бастапқыда терезеде кадрлар жоқ, сондықтан терезе бос және оның төменгі және жоғарғы шектері сәйкес келеді.



3.11-сурет. 3-биттік реттік нөмірі бар 1 өлшемді сырғымалы терезе: бастапқы жағдай (а); бірінші кадрды жөнелткеннен кейін (ә); бірінші кадрды қабылдағаннан кейін (б); бірінші растауды қабылдағаннан кейін (в)

3.4.1. Бір битті сырғымалы терезе хаттамасы

Жалпы жағдайды қарастырмас бұрын, терезенің максималды көлемі 1 болатын хаттаманы қарастырайық. Мұндай хаттама кадрды жіберіп, жіберушісі келесі кадрды жібермес бұрын растама күткендіктен, күту әдісін қолданады.

Аталған кадр *3.5-листингінде* көрсетілген. Басқа хаттамадар сияқты, хаттама кей айнымалыларды анықтаудан бастайды. *next_frame_to_send* айнымалысы жіберуші жіберуге тырысатын кадрдың нөмірінен тұрады. Осыған ұқсас, *frame_expected* айнымалысы қабылдаушы күтетін кадрдың нөмірін сақтайды. Екі жағдайда да мүмкін болатын мән тек 1 не 0 бола алады.

3.5-листингі. Сырғымалы терезенің 1-биттік хаттамасы

/ 4-хаттама (Сырғымалы терезе) дуплексті болып табылады. */*

```
#define MAX_SEQ1                               /* 4 хаттамада тек 1 болуы керек */
typedef enum {frame_arrival, cksum_err, timeout} event_type;
#include «protocol.h»

void protocol4 (void)
{
    seq_nr next_frame_to_send;                 /* тек 0 немесе 1*/
    seq_nr frame_expected;                     /* тек 0 немесе 1*/
    frame r, s;                                /*уақытша айнымалылар*/
    packet buffer;                              /*ағымдағы жіберілген элемент*/
    event_type event;
    next_frame_to_send = 0;                    /*шығыстағы ағындағы келесі кадрдың нөмірі*/
    frame_expected = 0;                        /*күтілген кадрдың нөмірі */
    from_network_layer(&buffer);               /* желілік деңгейден бірінші дестені алу*/
    s.info = buffer;                           /* тасымалдау үшін бірінші кадрды дайындау*/
    s.seq = next_frame_to_send;                /* кадрға реттік нөмірді орналастыру */
    s.ack = 1 - frame_expected;                /* растау, жіберілген кадр дерегінде */
    to_physical_layer(&s);                     /* кадрды арна бойымен жөнелту*/
    start_timer(s.seq);                         /* растауды күтуші таймерді іске қосу*/
    while (true) {
        wait_for_event(&event);                /* мүмкін болатын frame_arrival,
                                                cksum_err немесе timeout оқиғаларын күту */
        if (event == frame_arrival){           /* кадр бүтін келді*/
            from_physical_layer(&r);           /* кадрды алу */
            if (r.seq == frame_expected){      /* келген кадр ағынын өңдеу*/
                to_network_layer(&r.info);     /* дестені желілік деңгейге жіберу */
                inc(frame_expected);           /* келесі жолы күтілетін кадрдың нөмірін
                                                инверсиялау */
            }
            if (r.ack == next_frame_to_send){ /* шығыстағы кадр ағынын өңдеу */
                stop_timer(r.ack);            /* таймерді алып тастау */
                from_network_layer(&buffer);   /* желілік деңгейден келесі дестені алу */
                inc(next_frame_to_send);       /* айнымалының мәнін инверсиялау
            }
        }
        s.info = buffer;                       /* кадрды тасымалдау үшін дайындау */
        s.seq = next_frame_to_send;           /* кадрға реттік нөмір орналастыру*/
        s.ack = 1 - frame_expected;           /* соңғы алынған кадрдың реттік нөмірі*/
        to_physical_layer(&s);                /* кадрды жөнелту*/
        start_timer(s.seq);                   /* растауды күтуші таймерді іске қосу */
    }
}
```

Қалыпты жағдайда тек бір ғана арналық деңгей тасымалды бастай алады. Басқаша айтқанда, негізгі цикл бойынша *to_physical_layer*; *start_timer* процедураларына шақыру тек бір бағдарламада бола алады. Егер қос арналық деңгей бірдей уақытта тасымал жасауды бастаса, қиын жағдай туындайды. Бастаушы машина өзінің желілік деңгейінен бірінші дестені алады, одан кадр құрастырып, жібереді. Осы (не басқа) кадр жеткенде, арналық деңгейдің қабылдаушысы арна 3 сияқты деректерді дубликаттыққа тексереді. Егер ол күтілген кадр болса, желілік деңгейге жеткізіледі және қабылдаушының терезесі жоғары жылжиды.

Растам а өрісі соңғы қатесіз алынғанның нөмірінен тұрады. Егер нөмір жіберуші жібергісі келген кадр нөмірімен сәйкес келсе, соңғысы бұл кадрдың қабылданғандығын және ол келесі кадрды жібере алатындығын түсінеді. Басқаша болғанда, ол сол кадрды қайта жібере береді.

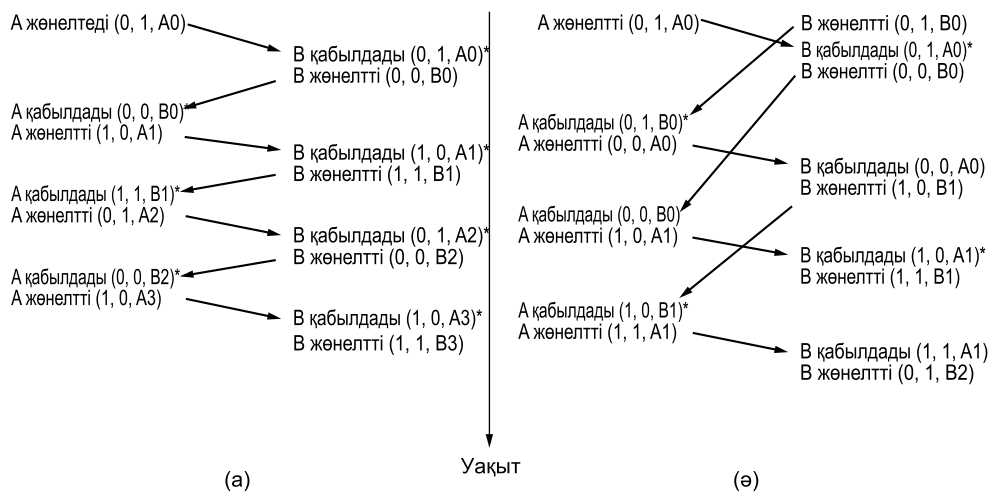
Енді арна 4-ті үйреніп, оның қаншалықты стандарттан тыс жағдайларға қаншалықты орнықты екендігін қарастырайық. А машинасы В машинасына О кадрын жібереді деп есептейік. Одан басқа, А машинасында қысқа уақытты растам орналасқан деп есептелік. Сәйкесінше, А машинасы $seq=0$, $ask=1$ мәніне сәйкес бірдей кадрлар топтамасын жібереді.

Бірінші бүлінбеген кадр В машинасына келгенде, ол қабылданады және *frame_expected* айнымалысының мәні 1-ге тең болады. В машинасы реттік нөмірі 0-ге емес 1-ге тең кадр күтетіндіктен, барлық келесі кадрлар есепке алынбайды. Одан басқа барлық кадр дубликаты өрісі мәні $ask=1$, ал В машинасы 0 кадрының растамасын күтеді, сондықтан В машинасы өзінің желілік деңгейінен жаңа десте сұрамайды.

А машинасына жіберіліп қайтарылған әр нұсқаға В машинасы өрісі $seq=0$ $ask=0$ тең кадр қайтарады. Соңында кадрлардың кейбіреуін Л машинасы қабылдайды, нәтижесінде А машинасы келесі дестені тасымалдауға көшеді. Ешқандай жоғарылған кадрдың комбинациясы немесе уақытынан бұрын күту аралығының бітуі бұл хаттаманы желілік деңгейге дестенің нұсқасын не дестені өткізуге, не тоқтап қалуға күштей алмайды. Хаттама дұрыс жұмыс істейді.

Бірақ егер екі жақ бірдей уақытта бастапқы дестені бір біріне жіберетін болса, *3.12-суретте* көрсетілген түсініксіз жағдай орын алады. Суреттің сол жағында дұрыс жұмыс істейтін хаттама көрсетілген. Оң жағы керісінше жағдайды қарастырған. Егер В машинасы А машинасынан кадр күтсе, өзінің кадрын жіберместен бұрынғы реттілік суреттің сол жағында көрсетілгендей болмақ. Сонымен қатар әр кадр қабылданады.

Бірақ егер А және В машинасы бір уақытта тасымалды бастаса, олардың алғашқы кадрлары түйісіп, олардың арналық деңгейлері ә жағдайға түседі. а жағдайында әр кадрмен жаңа десте келеді, дубликат жоқ. ә жағдайында байланыс арнасында қателік болмағанына қарамастан, кадрдың жартысының дубликаты бар. Мұндай жағдайлар бірінші жақ диалогты бірінші бастағанына қарамастан, күту периодының уақыттын бұрын біту нәтижесіне байланысты орын алады. Шындығында, егер күту уақыты жылдам өтсе, кадр үш не одан көп жіберіле алады.



3.12-сурет. Хаттама 4 үшін екі сценарий; қалыпты (а) жағдай; штаттан тыс жағдай (ә). Жұлдызша желілік деңгей десте қабылдады деген белгі.

3.4.2 n шамасына қайтымды хаттама

Біз осы уақытқа дейін алғашқы мәні бойынша жіберушіден қабылдаушыға кадр тасымалдауға кететін уақыт пен қабылдаушыдан жіберушіге растама жіберетін уақыт өте аз деп келдік. Кейде бұл болжамдар қате болады. Мұндай жағдайларда желі бойынша кадрдың ұзақ өтуі арналық өткізгіштік қасиетінің тиімділігін азайтады. Мысал ретінде спутникті арналы қарастырайық: өткізгіштік қасиеті 50 Кбит/с, сигналды екі шетке өткізу уақыты 500мс. Протокол 4-ті 1000 бит көлеміндегі кадрды спутник арқылы тасымалдауға қолданып көреміз. $t=0$ уақытында жіберуші бірінші кадрды жібереді. $t=20$ мс уақытында кадр толығымен жіберіледі. $t=270$ мс уақытында қабылдаушы кадрды толық қабылдап, растауды кері жібереді. Соңында ең жақсы жағдайда тек кадрды жібергеннен кейінгі 520 мс-тен соң жіберуші растауды алады. Бұл жағдайда қабылдаушы қабылданған кадрды өңдеуге уақыт жұмсамайды, оның жіберу және қабылдау уақытын үнемдеуге болады деп есептелінді. Бұл жіберуші машина 500/520 немесе 96% уақытқа блокталған деген сөз. Басқаша айтқанда, өткізгіштік қасиеттің тек 4% ғана қолданылды. Байқағанымыздай, сигналды өткізуге кететін ұзақ уақыт, үлкен өткізгіштік қасиет пен қысқа кадрлардың үйлесімділігі тиімділік жағынан еш қанағаттанарлық емес.

Жоғарыда суреттелген мәселе жіберушіге жаңа кадр жіберместен бұрын растама күтуді талап ететін ереженің әсерінен туындауда. Талапты жеңілдету арқылы тиімділікті әлдеқайда арттыруғы болады. Мәселенің шешімі растау күту режиміне кетпестен бұрын жіберушіге бір емес бірнеше кадр жіберуге рұқсат беруде жатыр. Жіберуші тоқтаусыз жіберетіндей w санын таңдап алуға болады.

w -ға сәйкес мән таңдау үшін арнаға қанша кадр сиятын білуіміз керек, кад-

рлар жіберушіден қабылдаушыға тасымалданғандықтан, сыйымдылықты өтімділік алаңын секундтағы битті бір бағытқа тасымал уақытына көбейту арқылы анықталады. Бұл санды BD (Bandwidth-delay-product, өтімділік алаңын кешеуілге көбейтеміз) деп атайық. Тиісінше, w -дің мәнін $2BD+1$ болатындай таңдау керек. $2BD$ -жолда кетіп бара жатқан кадр (растаусыз кадр) саны, егер жіберуші кадрды үздіксіз жіберсе (екілік растауды қабылдауға кететін уақытты есептеу керек екендігін көрсетеді). Кадр растамасы толық кадр деректерін қабылдағаннан кейін жіберілгендіктен, бірді қосамыз.

Мысал ретінде өтімділік алаңы 50 Кбит/с арналы алайық, кадрды бір жаққа тасымалдауға 250 мс кетеді. BD -нің мәні 12, 5 Кбит/с немесе әр қайсысы 1000 биттен тұратын 12, 5 кадр. $2BD+1$ 26кадрға тең. Жіберуші бұрынғыдай 0 кадрын жіберуден бастайды және кезекті кадрды 20 мс соң жібереді. 26 кадрды жіберіп болған соң (520 мс), 0 кадрдың растамасы келеді. Осылайша, жіберуші уақытылы кадрды жіберуге рұқсат алады. Осы сәттен бастап, жіберушінің 25 не 26 растаусыз кадрды болады, сәйкесінше көлемі 26-ға тең терезе жеткілікті саналады.

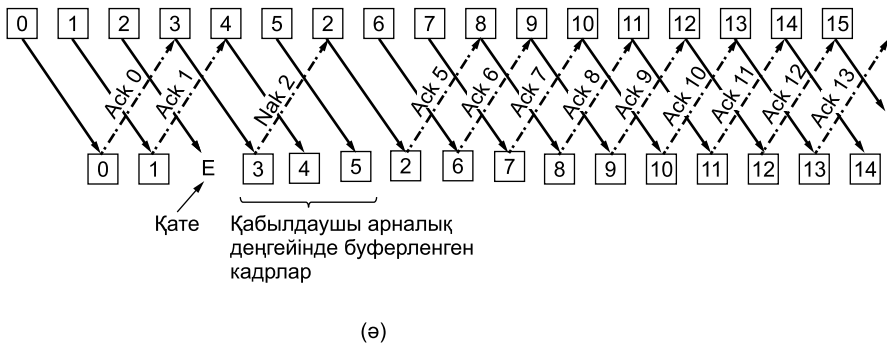
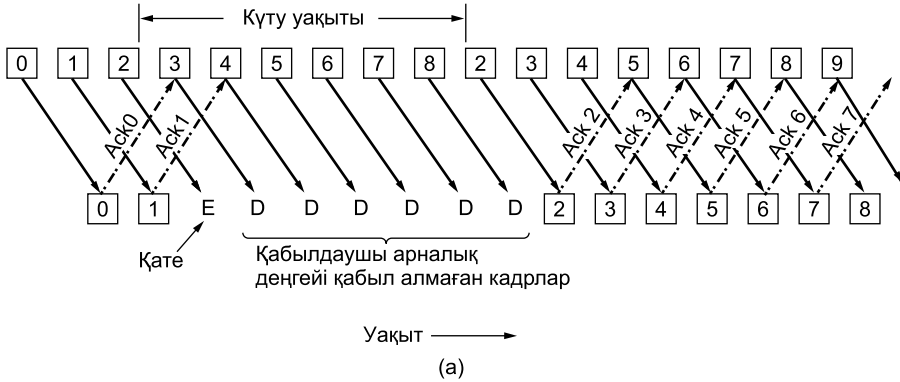
Егер терезенің көлемі аса үлкен болмаса, жіберуші кейде блокта қалып қоятындықтан, канал 100%-ға жүктелінбейді. Жүктеуді жіберуші блокталмаған уақыт тілімі ретінде көрсетуге болады:

$$\text{Арналы жүктеу} \leq \frac{w}{1 + 2BD} .$$

Бұл мән кадрды өңдеу уақытын есептемегендіктен, жоғарғы шекті көрсетеді. Кадр растамасының ұзындығы 0-ге тең деп саналады, шындығында олар өте қысқа. Бұл теңсіздіктен BD -ның үлкен мәні үшін w терезенің көлемін үлкен таңдау керек екедігі түсінікті. Егер кешеуіл үлкен болса, жіберушінің терезесі орташа өтімділік алаңы болса да, тез босап қалады. Егер өтімділік алаңы кең болса, орташа кешігудің өзінде жіберуші терезесін тез босатады, тек көлемімен қатты өзгермесе (мысалы, өтімділік қабілеті 1 Гбит/с және кешеуіл 1 болса, 1 Мбитті ұстай алмайды). Егер хаттамада күтілген мән $w=1$ болса, таралу кешеуілі 1 кадрға тең болса да, тиімділігі 50%-дан аз болады.

Мұндай техника конвейерлі өңдеу деп аталады. Конвейерлік режим кезінде сенімсіз канал арқылы кадрлар тасымалдаудан күрделі мәселелер туындайды. Біріншіден, үлкен ағынның арысында кадр жоғалса не бүлінсе не болады? Жіберуші қатені анықтамастан бұрын, үлкен көлемде кадрлар қабылдаушыға жетеді. Бүлінген кадр қабылдаушыға жнткенде, қабылдаушы оны қабылдамауға тиіс, бірақ қабылдаушы дұрыс келесі кадрларды не істеу керек? Аталып өткендей, арналық деңгейдің алушысы қатаң реттілікті сақтай отырып, желілік деңгейге тасымалдауы керек.

3.13-суретте қатені жөндеуге конвейерлік өңдеудің әсері бейнеленген. Кадрларды конвейерзациялау кезінде туындайтын қателерді шешудің екі әдісі бар. Біз енді осы сұрақты тереңірек қарастырамыз.



3.13-сурет. Қателерді конвейерлеу және тексеру: терезе көлемі 1-ге тең болғанда (a); терезе көлемі 1-ден үлкен болғанда (ә)

Бірінші әдіс ***n*-ге қайтару (go-back-*n*)** деп аталады және ол қате кадрдан кейінгі басқа кадрларды назарға алмауға негізделген. Мұндай кадрларға растама жіберілмейді. Бұл стратегия көлемі 1 болатын қабылдаушы терезесіне сәйкес келеді. Басқаша айтқанда, арналық деңгей желілік деңгейге тасымалдайтын келесі нөмірлі кадрдан басқа кадрларды қабылдаудан бас тартады. Егер жіберушінің терезесі уақытынан бұрын толып қалса, конвейер тұрып қалуға бастайды. Соңында жіберушінің уақыт шегі өтеді және ол бүлінген не жоғалған кадрдан бастап растама алмаған барлық кадрды қайта жібере бастайды. Мұндай қателік жоғары болғандағы талпыныс арнаның өткізгіштік қасиетінің көп бөлігінің жоғалуына себепші болады.

3.13 ә-суретте қабылдаушының терезесінен үлкен жағдайдағы *n* қайтару бейнеленген. 0 және 1 кадрлары дұрыс қабылданады, осының негізінде растама жіберіледі. Бірақ кадр 2 бүлінген немесе жоғалған. Ештеңеден күмәнданбайтын жіберуші кадр 2-нің күту уақыты біткенше кадрлар жіберуін жалғастыра береді. Тек осыдан кейін ғана істен шыққан жерге келіп, кадр 2-ден бастап кадрларды қайта жібереді (2, 3, 4 және т. б. жібереді).

Кадрды конвейерлі тасымалдауда қателерді өңдеудің басқа жалпы стратегиясы **таңдалған қайталау (selective repeat)** деп аталады және қабылдаушы қате не бүлінген кадрларды қабылдағаннан соң буферде барлық дұрыс кадрларды сақтайды дегенге негізделген. Осылайша бұрыс кадр лақтырылады. Жіберуші не болғанын түсінгенде (растау күту уақыты біткенде), ол барлық келесі кадрларды жібермей, жоғалған не бүлінген кадрларды қайта жібереді. Егер екінші талпыныс сәтті болса, арналық деңгейдің қабылдаушысы жинақталған дестелерді желілік деңгейге тез жібере алады, кейінірек ең үлкен нөмірмен кадрдың қабылданғандығын растайтын растауды жібереді.

Таңдалған қайталау көп жағдайда қателіктер табылғанда қабылдаушымен **«теріс растама» (NAK-Negative Acknowledgement)** жіберуде бірігеді. Мысалы, қате бақылау сомасы болғанда не кадрлар реттілігінде өзгерістер болғанда. NAK жіберушіден растауды күту уақыты бітпестен бұрын қайта жіберуді үгіттейді. Осылайша жұмыс тиімділігі бірнеше есе артады.

3.13 ә-суретте 0 және 1 кадрлары дұрыс қабылданады, ал кадр 2 жоғалады. Кадр 3-ті алғаннан кейін арналық деңгей қабылдаушысы бір кадрдың реттілігінің бұзылғандығын байқайды. Кадр 2 үшін жіберушіге NAK жіберіледі, ал кадр 3 арнайы буферде сақталады. Кейінірек кадр 4 және 5 келіп, желілік деңгейге тасымалданбай, арналық деңгейде буферленеді. NAK2 жіберушіге келеді және оны кадр 2-ні жіберуге мәжбүрлейді. Соңғысы қабылдаушыға жеткенде, арналық деңгейде кадр 2, 3, 4, 5-тің барлығы болып, желілік деңгейге осы ретпен тасымалданады. Суретте көрсетілгендей кадр 5-ті қосып, барлық кадрлардың қабылданғандығы жөнінде растауды жіберуге болады. Егер NAK жоғалса, 2-ні күту уақыты біткеннен соң жіберуші кадр 2-ні қайта жібереді (тек 2-ні), бірақ бұл NAK-тың көмегінен әлдеқайда кеш орын алуы мүмкін. Қысқаша айтқанда, NAK бүлінген кадрды қайта жіберу үрдісін жылдамдатады.

3.6-листингі. N-ге қайтарымды сырғымалы терезенің хаттамасы

*/** {5-хаттама (конвейерлеу) расталмаған кадрдың бірнешеуінің болуына рұқсат етеді. Жіберуші растауды күтпей-ақ MAX_SEQ дейін кадрларды жібере алады. Сонымен қатар, желілік деңгейде үнемі дестелердің болуы болжанбайды. Жаңа десте болған кезде желілік деңгей *network_layer_ready* оқиғасын іске қосады.**!*

```
#define MAX_SEQ 7
typedef enum {frame_arrival, cksum_err, timeout, network_layer_ready} event_type;
#include «protocol.h»
```

```
static boolean between(seq_nr a, seq_nr b, seq_nr c)
{
/* Return true if a <= b < c циклді болса true ; кері жағдайда false. */
  if (((a <= b) && (b < c)) || ((c < a) && (a <= b)) || ((b < c) && (c < a)))
    return(true);
  else
    return(false);
}
```

```

static void send_data(seq_nr frame_nr, seq_nr frame_expected, packet buffer[ ])
{
/* Ақпараттық кадрды дайындау және жөнелту. */
    frame s;                               /* уақытша айнымалы*/
    s.info = buffer[frame_nr];              /*дестені кадрге орналастыру*/
    s.seq = frame_nr;                       /* кадрге реттік нөмір беру*/
    s.ack = (frame_expected + MAX_SEQ) % (MAX_SEQ + 1); /*растату*/
    to_physical_layer(&s);                  /*кадрды арна бойынша тасымалдау*/
    start_timer(frame_nr);                  /*растAUDY күтуші таймерді іске қосу*/
}

void protocol5(void)
{
    seq_nr next_frame_to_send;              /* MAX_SEQ > 1; шығыстағы ағын үшін
                                           пайдаланылады*/
    seq_nr ack_expected;                   /*ең кәрі расталмаған кадр*/
    seq_nr frame_expected;                 /*кірістегі ағында күтілетін келесі кадр*/
    frame r;                               /*уақытша айнымалы*/
    packet buffer[MAX_SEQ + 1];           /*шығыстағы ағынға арналған буфер*/
    seq_nr nbuffered;                     /*қарастырылып отырған уақытта
                                           қолданылатын шығыс буферінің саны*/

    seq_nr i;                              /*буфер массивінің индексі*/
    event_type event;

    enable_network_layer();                /*network_layer_ready оқиғасына рұқсат беру*/
    ack_expected = 0;                      /*келесі күтілген кірістегі растаудың нөмірі*/
    next_frame_to_send = 0;                /*тасымалданатын келесі кадрдың нөмірі*/
    frame_expected = 0;                   /*келесі күтілген кірістегі кадрдың нөмірі*/
    nbuffered = 0;                        /*буфердің басында ештеңе жоқ*/

    while (true) {
        wait_for_event(&event);            /*төрт мүмкін болатын оқиға: see event_type above */
    switch(event) {
        case network_layer_ready:          /*желілік деңгейде тасымалдауға арналған
                                           десте бар*/
            /* Жаңа кадрды алу, сақтау және тасымалдау */
            from_network_layer(&buffer[next_frame_to_send]); /*жаңа десте алу*/
            nbuffered = nbuffered + 1;     /*жіберушінің терезесін ұлғайту */
            send_data(next_frame_to_send, frame_expected, buffer); /*кадрды жіберу*/
            inc(next_frame_to_send);       /*жіберуші терезесінің жоғарғы шетін ұлғайту*/
            break;

        case frame_arrival:                /*деректері немесе растауы бар кадр келді*/
            from_physical_layer(&r);       /*келген кадрды физикалық деңгейден алу*/

            if (r.seq == frame_expected) {
                /*Кадрлер тек реттік нөмірі бойынша қабылданады. */
                to_network_layer(&r.info); /*дестені желілік деңгеге жіберу*/
                inc(frame_expected);      /*алушы терезесінің төменгі шетін жылжыту*/
            }
    }

    /* n-ші кадрдың расталуы n-1, n-2, т.с.с. кадрлардың расталуын білдіреді */
    while (between(ack_expected, r.ack, next_frame_to_send)) {

```

```

/*Растауды ақпараттық кадрмен бірге тасымалдау*/
nbuffered = nbuffered - 1;          /* буферде бір кадр кем*/
stop_timer(ack_expected);          /* кадр бүтіндей келді; таймерді
                                   тоқтату*/
    inc(ack_expected);              /*жіберушінің терезесін кішірейту*/
}
break;
case cksum_err: break;              /*жаман кадрлер жәй ғана еленбейді*/

case timeout:                       /*уақыт аяқталды; барлық бүлінбеген
                                   кадрларды қайтадан жіберу*/
    next_frame_to_send = ack_expected; /* қайта жіберілетін бірінші кадрдың
                                   нөмірі*/

    for (i = 1; i <= nbuffered; i++) {
        send_data(next_frame_to_send, frame_expected, buffer); /* кадрды қайта
                                                                    тасымалдау*/
        inc(next_frame_to_send); /*келесі кадрды жіберуге
                                   дайындалу */
    }
}

if (nbuffered < MAX_SEQ)
    enable_network_layer();
else
    disable_network_layer();
}
}

```

Осыған дейін көрсетілген екі стратегияның бірін таңдау арнаның деңгейдегі өткізгіштік қабілеті мен буфердің көлемі арасындағы келісімге байланысты. Белгілі бір жағдайдағы қажеттілікке байланысты, екі әдістің бірі қолданылады. 3.6-листингінде арналық деңгей қабылдаушысының кадрды ретпен қабылдаған конвейерлік хаттамасы көрсетілген. Қате кадрдан кейін келген кадрлар назарға алынбайды. Осы хаттамада біз алғаш рет желілік деңгейдің жібергісі келетін шексіз дестелері бар деген байламнан бас тарттық. Желілік деңгейде жібергісі келетін десте пайда болғанда, деңгей *network_layer_ready* процедурасын инициализациялайды. MAX_SEQ санындай растаусыз дестенің санын шектеу үшін, арналық деңгей кей кездері желілік деңгейді уақытша өшіру мүмкіндігі болуға тиіс. Бұл мақсаттар үшін *enable_network_layer*, *disable_network_layer* процедуралары қызмет жасайды.

Кез келген уақыт тілімінде растаусыз MAX_SEQ+1 емес, MAX_SEQ болуы мүмкін, бірақ MAX_SEQ+1 реттік нөмірімен өзгешеленуі мүмкін: 0-ден MAX_SEQ-ға дейін. Мұндай шектеулердің қажеттілігін түсіну үшін MAX_SEQ=7 жағдайды қарастырайық.

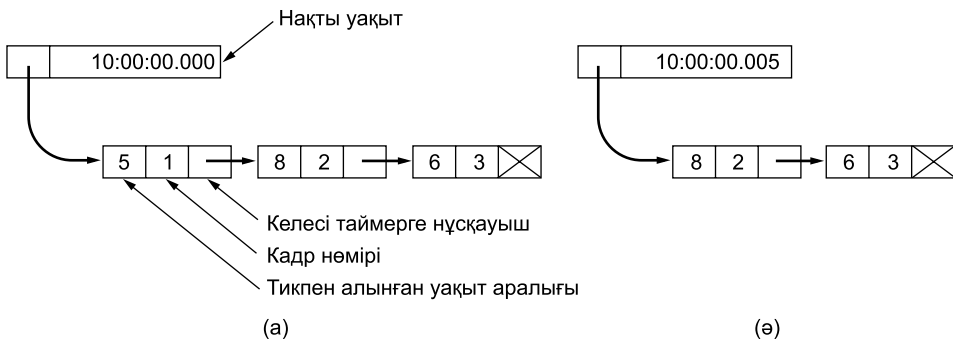
1. Жіберуші 0-7 аралығындағы кадрларды жібереді.
2. Кадр 7 үшін растама әйтеуір жіберушіге жетеді.
3. Жіберуші келесі 0-ден 7-ге дейінгі нөмірлі сегіз кадрды қайта жібереді.
4. Кадр 7 үшін тағы бір растама жіберушіге келеді.

Туындайтын сұрақ: екінші лекке кіретін сегіз кадр қабылдаушыға бүтін жетті ме, әлде жоғалды ма (қателіктен кейінгі назарға алынбаған кадрларды қоса)? Екі жағдайда да қабылдаушы 7-кадрді растама ретінде жібереді. Ал жіберушінің бір жағдайды екіншісінен ажырататын қабілеті жоқ. Осы себептен, максималды растаусыз кадр саны MAX_SEQ-мен шектелуге тиіс.

5-хаттамада қателіктен кейін түскен кадрларды қабылдаушы буферлемесе де, жіберуші растама алмайынша, кадрларды өз буферінде сақтау керек. Егер n кадрына растама келсе, $n-1$, $n-2$ (барлық алдыңғы кадрлар) кадрлар автоматты расталған болып саналады. Растаудың мұндай түрі **кумулятивті (cumulative acknowledgement)** деп аталады. Бұл қасиет растамасы бар кадрдың жоғалғанында не бүлінгенінде өте маңызды. Растама алып, арналық деңгей белгілі бір буфердің босағандығын тексереді. Егер буфер босаса, блокталған желілік деңгейге *network_layer_ready* оқиғасын инициализациялауға болады.

Бұл хаттама үшін әрдайым растама жіберетін кері трафик бар деп есептеледі. Егер бұл шарт қанағаттандырылмаса, растамалар жіберілмейді. Хаттама 4 мұндай жорамал қажет етпейді, өйткені қабылданған әр кадрдан соң жіберушіге қазір ғана кадр жіберілсе де керісі келеді. Келесі хаттамада кері трафиктің болмауы басқашалай шешіледі.

5-хаттама растаусыз бірнеше кадрды сақтағандықтан, оған әр кадрға бір таймерден қажет болады. Әр кадр үшін бір-бірінен тәуелсіз уақыт есептеледі. Барлық таймерлер периодты үзілістер туындататын аппаратты сағаттарды қолдану арқылы бағдарламамен симуляцияланады. Аталған таймерлер бағдарламада байланысқан тізім ретінде сақталына алады, әр түйіні жүйелік сағаттың күту уақытының бітуіне дейінгі уақыт аралығын, кадрдың нөмірін және келесі түйін тізіміне белгіні сақтайды.



3.14-сурет. Бірнеше таймердің жұмысының бағдарламалық симуляциясы

3.14-суретте бірнеше таймерлерді жасау бағдарламасы көрсетілген. Сағат өзінің жағдайын әр 100 мс сайын өзгертеді деп қабылддық. Шын уақыттың бастапқы мәні 10:00:00. 0 болсын және 10:00:00, =. 5, 10:00:01. 3, 10:00:01. 9 уақытына бергіленге үш таймер болсын. Аппараттық сағаттар өзінің мәнін

ауыстырған сайын, шын уақыт жаңарып, осы өзгерістердің есептеуіші тізімнің басында бірге кемиді. Есептеуіштің мәні нөлге тең болғанда, тайм-аут инициализациянады және түйін 3.14 ә-суретте көрсетілгендей тізімнен инициализацияланады. Мұндай таймерлердың құрылымы жүйелік сағаттан әр үзілгенде үлкен жұмыстың жасалуын талап етпейді, бірақ *start_timer*, *stop_timer* процедураларымен жұмыс істегенде тізімді сканерлеу қажет болады. Аталған процедуралардың хаттамаларында таймерін қосуға не тоқтатуға тиіс кадрдың нөмірін көрсететін кіруші параметр бар.

3.4.3. Таңдаулы қайталамалы хаттама

Хаттама 5 қателіктер аз кездесе, жақсы жұмыс істейді, бірақ нашар байланыста ол кадрды екі рет тасымалдап уақытты босқа құртады. Балама есебінде қабылдаушы жоғалған не бүлінген кадрлардан кейінгі кадрларды буферлейтін хаттаманы қолдануға болады. Мұндай хаттама кадрды тек алдыңғы кадр бүлінген не жоғалғаны үшін жоққа шығарылмайды.

Бұл хаттамада жіберуші де, қабылдаушы да кадр нөмірі өткізе алатын көлемдегі терезелермен жұмыс істейді. Жіберушінің терезесінің көлемі нөлден басталып, *MAX_SEQ* деген белгілі деңгейге дейін өседі. Ал қабылдаушының терезесінің көлемі өзгермейді, *MAX_SEQ*-ға тең. Нөмірі терезе шегінде орналасқан әр кадрға қабылдаушының буфері болуы тиіс. Әр буфермен буфердің бос не бос емес екендігін анықтайтын бит байланысады. Кадр жеткенде, *between* функциясы реттік нөмірдің терезеге түскендігін тексереді. Ағымдағы кадр желілік деңгей күтіп отырған келесі кадр екендігіне қарамастан, бұл әрекеттер жасалынады. Ол барлық алдыңғы кадрлар дұрыс ретте желілік деңгейге тасымалданбайынша, арналық деңгейде сақталады. Хаттаманың алгоритмі 3.7-листингінде көрсетілген.

3.7-листингі

/ 6-хаттама (Таңдамалы қайталану) кадрлерді кез келген ретпен қабылдай береді, бірақ желілік деңгей бойымен оларды реттілікті сақтай отырып тасымалдайды. Әрбір расталмаған кадрмен таймер байланысқан. Сигнал іске қосылған кезде, 5 хаттамадағыдай барлық расталмаған кадрлар емес, тек осы кадр ғана қайталанып жіберіледі. */*

```
#define MAX_SEQ7                                /*2^n-1 болуы керек*/
#define NR_BUFS ((MAX_SEQ + 1)/2)
typedef enum {frame_arrival, cksum_err, timeout, network_layer_ready, ack_timeout} event_type;
#include «protocol.h»
boolean no_nak = true;                          /*жоққа шығарушы растау (nak) әлі
                                                жіберілген жоқ*/
seq_nr oldest_frame = MAX_SEQ + 1;             /*симуляторға арналған бастапқы мән */

static boolean between(seq_nr a, seq_nr b, seq_nr c)
{
/*Тура 5 хаттамадағыдай, бірақ қысқа, әрі түсініктірек. */
```



```

return ((a <= b) && (b < c)) || ((c < a) && (a <= b)) || ((b < c) && (c < a));
}

static void send_frame(frame_kind fk, seq_nr frame_nr, seq_nr frame_expected, packet buffer[ ])
{
/* Деректерді сондай-ақ, оң және теріс растауларды қалыптастыру және тасымалдау. */
frame s;
/*уақытша айнымалы */

s.kind = fk;
/* kind == data, ack, немесе nak */
if (fk == data) s.info = buffer[frame_nr % NR_BUFS];
s.seq = frame_nr;
/*тек ақпараттық кадрлар үшін ғана
мағынасы бар */

s.ack = (frame_expected + MAX_SEQ) % (MAX_SEQ + 1);
if (fk == nak) no_nak = false;
/*кадрға тек бір ғана nak, мархабат */
to_physical_layer(&s);
/* кадрды тасымалдау */
if (fk == data) start_timer(frame_nr % NR_BUFS);
stop_ack_timer();
/* растауы бар жеке кадрдың қажеті жоқ*/
}

void protocol6(void)
{
seq_nr ack_expected;
seq_nr next_frame_to_send;
seq_nr frame_expected;
seq_nr too_far;
int i;
frame r;
packet out_buf[NR_BUFS];
packet in_buf[NR_BUFS];
boolean arrived[NR_BUFS];
seq_nr nbuffered;

/* жіберуші терезесінің төменгі шеті */
/* жіберуші+1 терезесінің жоғарғы шеті */
/* қабылдаушы терезесінің төменгі шеті */
/* жіберуші+1 терезесінің жоғарғы шеті */
/* буферлер массивінің индексі */
/* уақытша айнымалы */
/* шығыстағы ағынға арналған буфер */
/* кірістегі ағынға арналған буфер */
/* кірістегі биттік карта */
/* қарастырып отырған уақытта қолданылатын
шығыстағы буферлердің саны */

event_type event;
enable_network_layer();
ack_expected = 0;
next_frame_to_send = 0;
frame_expected = 0;
too_far = NR_BUFS;
nbuffered = 0;
/* алушы+1 терезенің жоғарғы шеті */
/* бастапқыда буфер бос */
for (i = 0; i < NR_BUFS; i++) arrived[i] = false;

while (true) {
wait_for_event(&event);
/*мүмкін болатын бес оқиға:
see event_type above */

switch(event) {
case network_layer_ready:
/*жаңа кадрды алу, сақтау, тасымалдау*/
nbuffered = nbuffered + 1;
/* жіберушінің терезесін ұлғайту */
from_network_layer(&out_buf[next_frame_to_send % NR_BUFS]);
/* жаңа десте алу */

send_frame(data, next_frame_to_send, frame_expected, out_buf);
/* кадрды жіберу */

inc(next_frame_to_send);
/*жіберуші терезесінің оң жақ шетін ұлғайту */
break;
}
}

```

```

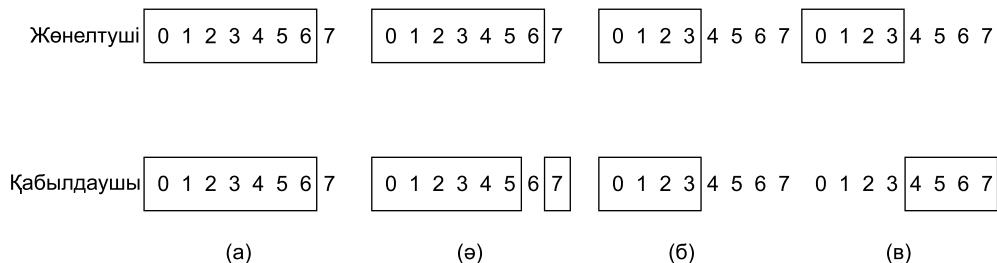
case frame_arrival:                /* деректері немесе растауы бар кадр келді */
  from_physical_layer(&r);          /* желілік деңгейден келген кадрды алу */
  if (r.kind == data) {
    /* Кадр бүтіндей келді */
    if ((r.seq != frame_expected) && no_nak)
      send_frame(nak, 0, frame_expected, out_buf); else start_ack_timer();
    if (between(frame_expected, r.seq, too_far) && (arrived[r.seq % NR_BUFS] == false)) {
      /* Кадрлер кез келген ретпен қабылдана береді. */
      arrived[r.seq % NR_BUFS] = true;          /*буферді бос емес деп белгілеу*/
      in_buf[r.seq % NR_BUFS] = r.info;        /* деректерді буферге салу*/
      while (arrived[frame_expected % NR_BUFS]) {
        /* Дестені желілік деңгейге тасымалдау және терезені жылжыту */
        to_network_layer(&in_buf[frame_expected % NR_BUFS]);
        no_nak = true;
        arrived[frame_expected % NR_BUFS] = false;
        inc(frame_expected); /* алушы терезесінің төменгі шетін жылжыту*/
        inc(too_far); /* алушы терезесінің жоғарғы шетін жылжыту */
        start_ack_timer(); /* растауды жеке кадр ретінде тасымалдау
                             керек болған жағдайда көмекші таймерді іске қосу*/
      }
    }
  }
}
if((r.kind==nak) && between(ack_expected, (r.ack+1)%(MAX_SEQ+1), next_frame_to_send))
  send_frame(data, (r.ack+1) % (MAX_SEQ + 1), frame_expected, out_buf);

  while (between(ack_expected, r.ack, next_frame_to_send)) {
    nbuffered = nbuffered - 1; /* растауды ақпараттық кадрмен бірге жіберу */
    stop_timer(ack_expected % NR_BUFS); /* кадр бүтіндей келді */
    inc(ack_expected); /* жіберуші терезесінің төменгі шетін жылжыту */
  }
  break;
case cksum_err:
  if (no_nak) send_frame(nak, 0, frame_expected, out_buf); /* ақауланған кадр*/
  break;
case timeout:
  send_frame(data, oldest_frame, frame_expected, out_buf); /* уақыт аяқталды*/
  break;
case ack_timeout:
  send_frame(ack, 0, frame_expected, out_buf); /* растау үшін жолаушыны күту уақыты
                                                аяқталды; растауды жіберу */
}
if (nbuffered < NR_BUFS) enable_network_layer(); else disable_network_layer();
}
}
}

```

Хаттаманың кездейсоқ реттілікте кадрлар қабылдауы барлық дестелер қатаң реттік нөмірі бойынша қабылданатын алдыңғы хаттамаларда қарастырылмаған кей мәселелерді туындатады. Мысал арқылы көрсету түсінуімізді жеңілдетеді. Кадрдың реттік нөмірі 3 биттен тұрсын, растама күту режиміне кетпестен бұрын жіберуші жеті кадрға дейін жібере алсын. Жіберуші мен қабылдаушының

терезелерінің алғашқы жағдайлары 3.15 а-суретте бейнеленген. Жіберуші 0-6 аралығындағы кадрларды жібереді. Қабылдаушының терезесі 0-6 аралығындағы кадрларды қоса қабылдай алады. Барлық жеті кадр сәтті жетеді, сондықтан қабылдаушы растама жіберіп, 7, 0, 1, 2, 3, 4, 5 нөмірлі кадрларды қабылдау үшін қабылдау терезесін 3.15 ә-суретте көрсетілгендей жылжытады. Барлық жеті бұфер бос сияқты белгіленеді.



3.15-сурет. Хаттама жұмысының мысалы: терезенің көлемі 7 болғандағы бастапқы жағдай (а); 7 кадр жіберіліп, қабылданғанда, бірақ расталмағанда (ә); терезе көлемі 4 болғандағы бастапқы жағдай (б); 4 кадр жіберіліп, қабылданғанда, бірақ расталмағанда (в)

Дәл осы уақытта апат орын алуы мүмкін, мысалы найзағай телефон столбына түсіп, барлық растамаларды өшіреді. Жіберуші растама күтпестен, кадр 0-ді қайта жібереді. Өкінішке орай, кадр 0 жаңа терезеге түседі және оны қабылдаушы қабылдайды (3.15 ә-сурет). Қабылдаушы 0-6 аралығындағы кадрлар қабылдағандықтан кадр 6 үшін қайта растама жібереді.

Жіберуші жіберген барлық кадрлары жеткені үшін 7, 0, 1, 2, 3, 4 кадрларын бірден жібереді. 7-кадрді қабылдаушы алады және құрамындағы дестені желілік деңгейге тасымалдайды. Осыдан кейін арнаның қабылдаушы деңгейі кадр 0-дің бар екендігін тексереді, оны тауып, кіріктірілген дестені желілік деңгейге тасымалдайды. Осылайша, желілік деңгей бұрыс десте алады, бұл хаттама өз қызметін атқара алмады деген сөз.

Сәтсіздіктің себебі қабылдаушы терезені жылжыту барысында болуы мүмкін кадр нөмірлерінің жаңа аралығы ескі аралықты жабады. Сәйкесінше, жіберілетін кадр топтамасы жаңа кадрлардан (егер барлық растаулар алынса) тұрумен қатар, қайта жіберілген ескі кадрлардан (егер растау жоғалса) да тұрады. Қабылдаушы жақтың бір жағдайды екіншісінен айыратын мүмкіндігі жоқ.

Аталған мәселенің шешімі жылжыған терезенің орны бастапқы терезені жаппайды деп кепілдік беру арқылы табылады. Бұл үшін терезенің көлемі реттік нөмір санының жартысынан аспау керек (3.15 б, в-суретте көрсетілген). Мысалы, реттік нөмір үшін 4 бит қолданылса, олар 0 мен 15 аралығында өзгеру керек. Осындай жағдайда уақыттың кез келген бөлігінде сегіз кадр расталынбайды. Осылайша, егер 0 мен 7 аралығындағы кадрлар алынса және терезе 8-15 аралығындағы кад-

рларды қабылдауға жылжыса, алушы қайта тасымалды (0-7) жаңа кадрлардан (8-15) айыра алады. Сондықтан протокол 6-да (MAX_SEQ+1)/2 көлемді терезе қолданылады.

Жаңа сұрақ туындайды: алушының қанша буфері болуға тиіс? Нөмірлері терезеге түспейтін кадрларды еш жағдайда ол қабылдамау керек. Сондықтан буфер саны реттік нөмірлердің диапазоны емес, терезенің көлеміне тең. Жоғарыда берілген мысалда 4 биттік реттік нөмір үшін 0 мен 7 аралығындағы сегіз буфер қажет. n кадры келгенде, ол $mod8$ буферіне орналасады. Мынаған қараңыз, модуль 8-бен алынған i және $(i+8)$ бір буферге таласқанмен, олар бір уақытта бір терезеде болмайды, себебі бұл терезенің көлемінің, ең кем дегенде 9-ға дейін үлкеюіне әкелер еді.

Осы себеппен қажетті таймер саны реттік нөмірдің диапазоны емес, буфер санына тең. Осылайша, әр таймерді өзінің буферімен байланыстырған қолайлырақ. Уақыт аралығы біткенде, буфердің құрамы қайта жіберіледі.

5-хаттамада арнаның жүгі өте жоғары деп бағамданған. Кадр келгенде бірден расталынбайтын. Мұның орнына растама ақпараттық кадрмен баратын. Егер кері ақпарат ағына үлкен болмаса, растама ұзақ уақытқа кешігетін. Егер бір бағытта көп ақпарат жіберіліп, қарама-қарсы бағытта ешнәрсе жіберілмесе, MAX_SEQ дестесі жіберілетін және хаттама тоқтатылатын.

6-хаттамада бұл мәселе шешілген. Деректермен кадр келгенде, *start_ack_timer* процедурасы көмекші таймерді іске қосатын. Егер таймер тасымалға арналған дерек кадрларынан бұрын іске қосылса, растамамен бөлек кадр жіберіледі. Көмекші таймерден үзіліс *ack_timeout* процедурасы деп аталады. Мұндай құрылыста бір бағытты дерек ағыны мүмкін, себебі растама жіберілетін кездейсоқ ақпараттық кадрлардың жоқтығы кедергі болып саналмайды. Бұл үшін тек бір таймер қажет. Егер таймер іске қосылса, *start_ack_timer* процедурасын шақырғанда, толық уақыт аралығын санау үшін оның параметрлері қайта орнатылады.

Көмекші таймер уақытының периоды растауды күту аралығынан қысқарақ болуы маңызды. Сонымен қатар, қабылданған дұрыс кадрға жауап растамасының шарты жіберушінің күту уақыты бітіп, жаңағы кадрды екінші рет жіберместен бұрын келу керек.

6-хаттама 5-хаттамаға қарағанда қатені өңдеудің тиімді стратегиясын қолданады. Қабылдаушыда қателік орын алды деген күмән туындағанда, ол жіберушіге теріс растама (NAK) жібереді. Қабылдаушы мұны екі жағдайда жасай алады: егер ол бүлінген кадр алса немесе күтілген кадрдан өзгеше кадр келсе (кадрды жоғалту қаупі). Бір кадрды қайта жіберу сұранысын бірнеше рет жібермес үшін, қабылдаушы аталған кадр үшін NAK жіберіліп-жіберілмегендігін есте сақтауы керек. Осы мақсат үшін 6-хаттамада күтілген кадрға (*frame_expected* нөмірімен) NAK жіберілмесе, *true* мәнін алатын *no_nak* айнымалысы қолданылады. Егер NAK жолай бүлінсе не жоғалса, жіберушінің оң растама күту уақыты бітіп, жеткізілмеген кадрды қайта жіберетіні үшін мәселе туындатпайды. Егер NAK жіберіліп, жоғалса, басқа кадр келсе, *no_nak*-тің мәні қайта *true* болады және көмекші таймер іске қосылады. Уақыт өткен соң, қабылдаушы мен жіберушінің

ағымдағы жағдайының синхрондығын қайта қалпына келтіру үшін оң растама (АСК) жіберіледі.

Кей жағдайларда кадрдың канал бойынша өтуі мен кері растама жіберуге кететін уақыт өзгеріссіз қалады. Мұндай жағдайда жіберуші күту уақытын кадрды жіберу мен растауды алу аралығының күту уақытынан көбірек қоюы мүмкін. Бірақ осы уақыт үлкен аралықта өзгерсе, жіберушіге күту уақытын таңдау оңай болмайды. Егер өте қысқа аралық таңдалса, керексіз қайта тасымалдау ризиі үлкейеді, нәтижесінде, арнаның өнімділігі азаяды. Өте үлкен мән таңдалғанда, хаттама күтуге көп уақыт жұмсайды, бұл да өткізгіштік қабілетті азайтады.

Басқа жағдайларда уақыт өзгеруі мүмкін. Егер кездесетін дерек ағыны үзіліспен болса, растама келу уақыты да тұрақсыз болады, кездесуші ағынға қарсы азайып, жоқ болғанда, көбейеді. Қабылдаушының кадр өңдеу уақыты айнымалысы да бірқатар мәселелер туындатуы мүмкін. Егер растау күту аралығының орташа квадраттық ауытқуы аралықпен салыстырғанда үлкен болмаса, онда таймер қатты орнатылуы мүмкін және теріс растамалардан пайда өте аз болады. Басқаша жағдайда таймер «өте бос» орнатылса, теріс растамалар жоғалған не бүлінген кадрды қайта тасымалдауды әжептәуір үдетеді.

Тайм-аут туындататын кадрды анықтау мәселесі тайм-аут және теріс растама мәселелерімен тығыз байланыста. Хаттама 5-те бұл ең үлкені болғандықтан әрдайым *ack_expected* нөмірлі кадр. Хаттама 6-да күту аралығы біткен кадрды анықтаудың қарапайым әдісі жоқ. 0 мен 4 аралығындағы кадрлар тасымалданды деп бағамдалық, яғни растаусыз кадр тізімі мынадай: 01234 (біріншіден соңына дейін). Енді 0 кадрының күту аралығы бітіп, қайта тасымалдансын, сосын 5 кадры (жаңа кадр) жіберіледі, сосын 1, 2 кадрларының күту уақыты бітеді және кадр 6 жіберіледі. Нәтижесінде, растаусыз кадрлар тізімі ең ескісінен басталып, жаңасынан аяқталғандықтан, 3405126 болады. Егер кездесуші барлық дерек ағыны жоғалса, аталған жеті кадрдың күту уақыты осы реттілікте бітеді.

Күрделі хаттаманы одан әрі қиындатпас үшін, таймерді басқару егжей-тегжейлігін көрсетпейміз. Мұның орнына тайм-аут болғанда, *oldest_frame* айнымалысына уақыт аралығы біткен кадрдың нөмірі беріледі.

3.5. ДЕРЕКТЕРДІ ТАСЫМАЛДАУ ХАТТАМАЛАРЫНЫҢ МЫСАЛДАРЫ

Бір ғимараттағы компьютерлерді байланыстыру үшін жергілікті желі кеңінен қолданылады, бірақ ғаламдық желілердің көпшілігі екі нүктелік байланысқа құрылған. Жергілікті желілермен *4-таранда* танысамыз. Мұнда біз екі кеңінен таралған жағдайда Интернеттің екі нүктелік арнасында қолданылатын арналық деңгейдің хаттамаларын қарастырамыз. Біріншісі- опто талшықты SONET бойынша пакет тасымалдау. Мысалы, мұндай арналар Интернетпен қамтамасыз етушінің әр түрлі желі соңында орнатылған маршрутизаторларды байланыстырады.

Екінші жағдай ADSL арнасын телефондық желі контуры шегінде суреттейді.

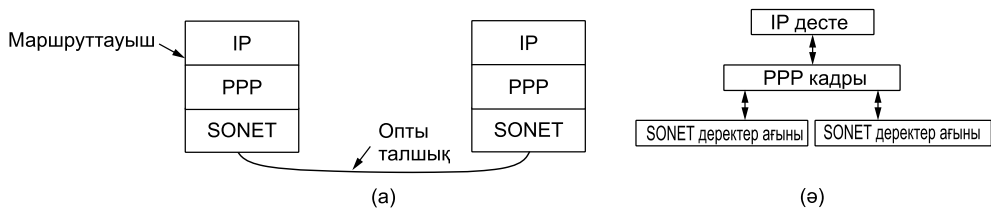
Мұндай байланыс арқылы Интренетпен компаниядағы миллиондаған қолданушы байланысады.

Қолданушыларға Интернетке қосылу үшін екі нүктелік желілер, телефон модемі, жалданған байланыс желілері, кабельдік модемдер және т.б. қажет. PPP (Point-to-Point-екі нүктелік байланыс хаттамасы) осындай арналар бойынша десте тасымалдау барысында қолданылатын стандартты хаттама. PPP хаттамасы RFC 1661 стандартында сипатталып, RFC (Simpson, 1994a, 1994b) кейінгі құжаттарында өңделген. PPP SONET және ADSL хаттамаларында әр түрлі қолданылады.

3.5.1. Деректерді SONET хаттамасы бойынша тасымалдау

2-таранда танысқан SONET – оптоалшықты арналарда қолданылатын, әр түрлі телефонды қосқандағы байланыс желілерінің магистральдарының құрамында кездесетін физикалық деңгейдің хаттамасы. Бұл хаттама жақсы, қатаң анықталған деректерді тасымалдаудың жылдамдығымен қамтамасыз етеді. Бит ағыны әр 125 мкс сайын жіберілетін деректер реттілігінен құралудан тәуелсіз тұрақты өлшемдегі дестелер түрінде ұйымдастырылған.

Мұндай арналар бойынша десте тасымалдау үшін пайда болған дестелерді дестелер тасымалданатын үздіксіз бит ағынынан айыра алатын кадрды құрау механизмі қажет. 3.16-суретте көрсетілгендей мұндай механизмдермен қамтамасыз ету үшін IP маршрутизаторларында PPP хаттамасы жұмыс істейді.



3.16-сурет. SONET хаттамасы арқылы тасымалданатын десте. хаттамалардың жиналуы (а); кадрлар арасындағы қатынас (ә)

PPP – SLIP (Serial Line Internet Protocol – тізбектес желілер үшін интернет хаттамасы) деп аталатын қарапайым хаттаманың жақсартылған нұсқасы. Қателерді табады, аутентификацияға рұқсат беретін және басқа да қасиеттерге ие хаттамадармен жұмыс істейді. Баптау топтамасының кеңдігінің арқасында PPP үш негізгі әдіс топтамасымен қамтамасыз етеді:

1. Кадр құрау әдісі – бір кадрдың соңы мен келесі кадрдың басы екендігін көрсетеді. Кадр форматы қателерді анықтау мүмкіндігін береді.
2. Арналы басқару хаттамасы-арналы байланыс құруды қамтамасыз етуге, тестілеуге, қолданыс параметрлерін келісуде және қажетсіз болғанда, өшіруге мүмкіндік береді. Бұл хаттама LCP (Link Control Protocol) деп ата-

лады. Ол синхронды және асинхронды байланыс сызықтарын, бит және байт-бағытталған кодтаумен жұмыс істейді.

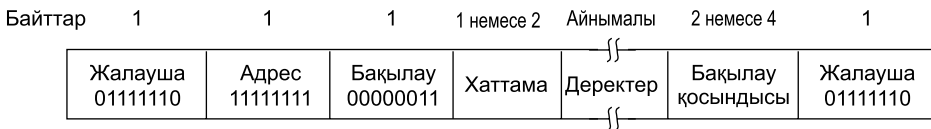
3. Желілік деңгей параметрлерін келісу қабілеті – желілік деңгейде қолданылатын хаттамадан тәуелсіз. Желілік деңгейді қолдайтын осы әдістің өзіндік желілік басқару хаттамасы бар (NCP, Network Control Protocol).

Бар нәрсені қайта ашпас үшін, **HDLC (High-Level Data Link Control-арналы басқарудың жоғары деңгейлі хаттамасы)** кадр форматына жақын PPP хаттамасы таңдалған. PPP хаттамасының битке бағытталған HDLC хаттамасынан ерекшелігі байтқа бағытталуында. Атап айтсақ, PPP-да символдық толтыру модемдік телефон байланыстарында қолданылады, сондықтан барлық кадрлар бүтін байт сандарынан тұрады. PPP хаттамасының көмегімен HDLC хаттамасында жіберуге болатын 30, 25 байт көлеміндегі кадрды жіберу мүмкін емес.

Бірақ та қолданыстағы құндылық екінші айырмашылықта. Жоғарыда көргеніміздей, HDLC сырғымалы терезе әдісі, растама және тайм-аутты қолдану арқылы деректерді сенімді тасымалмен қамтамасыз етеді. PPP, сонымен қатар, сымсыз желі сияқты шулы арналарда сенімді тасымалмен қамтамасыз етеді, хаттамалар егжей-тегжейлі RFC 1663 стандартында сипатталған. Бірақ бұл қолданыста өте аз қолданылады. Мұның орнына Интернетте растаусыз және байланыс құрмадан «нөмірленбеген режим» қызметпен қамтамасыз ету үшін қолданылады.

PPP кадр форматы *3.17-суретте* көрсетілген. Барлық PPP хаттамалары HDLC (01111110) хаттамаларының стандартты флагтік байтынан басталады. Егер мұндай байт дерек (Payload) өрісінде кездесер болса, 0x7D бақылау байтымен алдын алады, ал одан кейін келетін байт 0x20 мәнімен (бұл ретте бесінші бит қосылады) модуль 2 бойынша қосылған алдын алынған байт болады. Мысалы, 0x7D 0x20-0X7E флагтік байтының тізбектес басқарушылары. Бұл кадрдың басы мен соңын құрамды 0x7E байтына тексеріп, табуға болады деген сөз. Ол басқа еш жерде кездеспейді. Қабылдағаннан кейін толтыру биттерін өшіру әдісі-0x7D мәнін тауып, оны өшіру, ал келесі байтты модуль 2 бойынша 0x20 мәнін қосу. Одан басқа, кадрлар арасына тек бір флагтік байт қажет. Қабылдаушыға жіберетін кадрмен деректер жоқ болғанда, арналы толтыру үшін бірнеше флагтік байт қолданылады.

Одан кейін 11111111 екілік мәні бар Address өрісі келеді, бұл барлық станциялар осы кадрды қабылдауға тиіс деген сөз. Мұндай адрес қолдану деректерді тасымалдау адресін бекіту қажеттілігінің алдын алады.



3.17-сурет. Нөмірленбеген режимде жұмыс істейтін PPP кадрының толық құрылысы

Келесі өріс Control өрісінің жасырын мәні 00000011. Бұл сан нөмірленбеген кадрды көрсетеді.

Address, Control өрістерінің конфигурациялық жасырын мәні константа (тұрақты) болғандықтан, LCP хаттамасы екі өрісті өткізу туралы келісіп, әр кадрға 2 байт үнемдейді.

PPP кадрының төртінші өрісі-Protocol (Хаттама). Дерек өрісіндегі дестенің типін анықтайды. 0 битінен басталатын нөмірлер IP-дің 4, 6 нұсқаларына және IPX, Apple Talk сияқты желілік деңгейдің басқа хаттамаларына бөлінген. PPP хаттамаларының конфигурациясында қолданылатын 1 битінен бастап басқа LCP, желілік деңгейдің қолдайтын әр түрлі NCP хаттамалары кіреді. Protocol өрісінің жасырын мәні 2 байтқа тең, бірақ LCP көмегімен 1 байтқа дейін азайтуға болады. Жасаушылар 256 хаттамадан көп қолданылатын жағдай үшін сақтандырған.

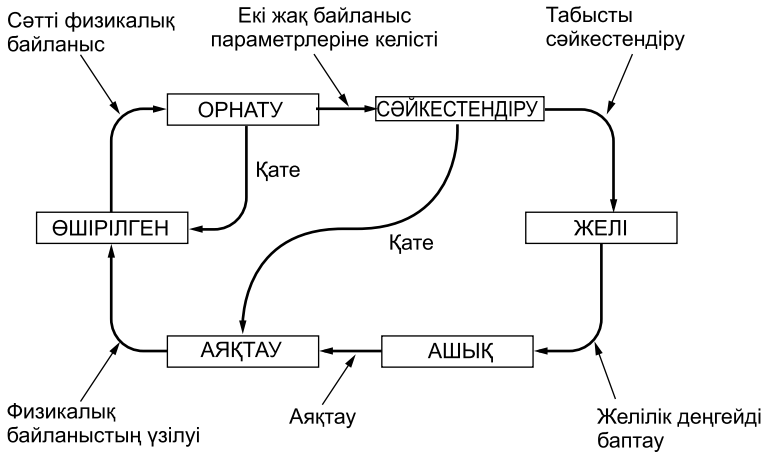
Payload өрісі (деректер өрісі) келісілген максималды мәні бар айнымалы ұзындыққа ие. LCP көмегімен байланыс барысында ұзындық келісілмесе, жасырын мән бойынша 1500 байтқа дейін болуы мүмкін. Қажеттілікке қарай қолданушының деректері арнайы символдармен толықтырылады.

Payload өрісінен кейін 2 байттық көлемі бар Checksum (бақылау сомасы) өрісі орналасқан. Келісім бойынша 4 байтқа дейін болуы мүмкін. 4-байттық бақылау сомасы жоғарыдағы бөлімде көрсетілген көп мүше тудыратын 32 биттік CRC коды болып саналады. 2-байттық бақылау сомасы да CRC стандартты коды болып табылады.

Сонымен, PPP модемдік байланыстарда, биттік жүйелі HDLC байланыс сызықтарында, SONET желілерінде және басқа да физикалық ортада қолданылатын әр түрлі хаттамаларды қолдайтын кадр құру механизмі болып табылады. PPP-ның әр түрлі SONET желілерінде қолдану нұсқалары RFC 2615 стандарттарында суреттелген. Физикалық, арналық және желілік деңгейлердегі тасымал қателігін анықтаудың негізі әдісі болғандықтан, 4-байттық бақылау сомасы қолданылады. SONET арналары салыстырмалы жоғары жылдамдықпен жұмыс істегендіктен, Адрес, Басқару және Хаттама өрістерін қыспау ұсынылады.

Тағы да қызықты ерекшелігі бар. SONET дерек ағынына түспестен бұрын, PPP хаттамаларындағы маңызды ақпарат шифрленеді (толығырақ жоғарыда). Шифрлеу барысында деректер модуль 2 бойынша жалған кездейсоқ ұзындықтағы тізбекпен қосылады. Тек осыдан кейін ғана қабылдаушыға жіберіледі. SONET-тегі дерек ағынының сәтті синхронизациясы үшін жиілік мәнін өзгертіп тұру мәселе болып табылады. Дауыстық сигнал тербелісінде бұл табиғи жолмен болады, тек жіберу барысында қолданушы қай ақпаратты жіберуді таңдайды, Мысалы, бұл ұзын нөлдер тізбегі болуы мүмкін. Шифрлеудің арқасында қолданушы мәселені шақыру ықтималдылығы ұзын нөлдер тізбегін жіберетіндіктен, нөлге жуық болады.

SONET арнасы бойынша PPP кадрларын жіберместен бұрын PPP байланысын орнатып, сәйкестендіру керек. Байланыс желісінің орнату, қолдану, ажырату жағдайлары *3.18-суретте* көрсетілген.



3.18-сурет. PPP байланысын орнату мен ажырату жағдайларының диаграммасы

Хаттаманың бастапқы жағдайы келесідей: желі өшірулі (DEAD), физикалық тасымалдаушы жоқ, физикалық деңгейде байланыс құрылмайды. Физикалық байланыс орнатылғаннан кейін желі ESTABLISH (орнату) жағдайына көшеді. Осы кезде LCP хаттамасының көмегімен параметрлер жайында келісім жүргізіледі. Сәтті келісімнен кейін, желі AUTHENTICATE (сәйкестендіру) фазасына көшеді. Енді екі жақ та қалаған кезде әңгімелесушінің кім екенін тексере алады. NETWORK (желі) фазасына көшу кезінде желілік деңгей баптауларын реттеу үшін тиісті NCP хаттамасы қосылады. Егер баптау сәтті өтсе, желі OPEN (ашық) фазасына көшеді және деректерді тасымалдау орын алады. Деректерді тасымалдау аяқталғанда, желі TERMINATE (аяқтау) фазасына көшеді, кейінірек DEAD халіне көшіп, физикалық байланыс үзіледі.

3.5.2. ADSL

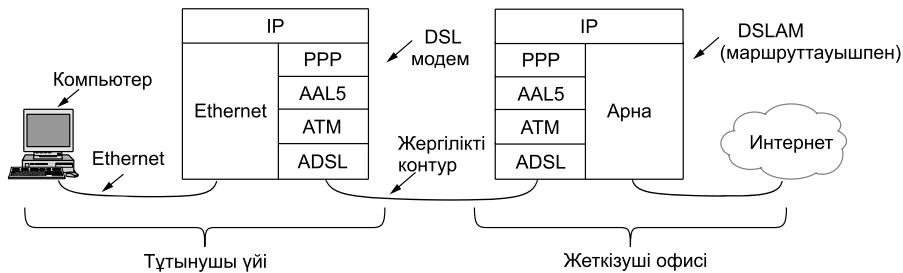
ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Loop, ассиметриялық цифрлық абоненттік контур) миллиондаған үй қолдаушыларын Интернетпен мегабит секундқа тең жылдампен байланыстырады. Бұл үшін қарапайым телефонияның қызметі көрсетілетін жергілікті телефон контуры да қолданылады. Жоғарыда DSL модем деп аталатын құрылғының үй тарапында орнатылуын қарастырғанбыз. Ол жергілікті контур бойынша телефондық компанияның офисінде орналасқан **DSLAM (DSL Access Multiplexer – DSL кіру мультиплексоры)** қондырғысына бағыттап бит жібереді. Біз енді ADSL арнасы бойынша десте тасымалдауға кеңінен тоқталамыз.

Хаттама мен құрылғының жалпы жұмысы 3.19-суретте көрсетілген. Әр желіде әр түрлі хаттама қолданылатындықтан, кең тараған сценарийді таңдадық.

Үй ішінде компьютер DSL модемге IP десте жібереді. Ол Ethernet сияқты арнамен жүреді. Сонан соң DSL модемі IP дестені кейінірек қарастыратын хаттаманы қолдану арқылы жергілікті DSLAM қондырғысына жібереді. DSLAM тарапында (немесе оған қосылған маршрутизаторды жасауға қарай) IP дестелер шығарылып, Интернет қызметін ұсынушының желісіне түседі, осылайша желідегі негізгі нүктесіне жетеді.

3.19-суретте көрсетілген ADSL арнасында жұмыс істейтін хаттамалар физикалық деңгейден басталады. Олар ортогоналды бөлінетін мультиплексрлеу деп аталатын цифрлық модуляцияға негізделген. IP желілік деңгейінің жоғары жиынында PPP орналасады. Бұл дестелерді қарастыру барысында PPP хаттамасы SONET арнасы бойынша жүреді. Ол IP дестені тасымалдау үшін байланысты орнатып, баптайды.

ADSL мен PPP арасында ATM және AAL5 орналасқан. Бұл біз қарастырмаған жаңа хаттамалар. **ATM (Asynchronous Transfer Mode-асинхронусты тасымал режимі)** хаттамасы 1990 жылдарда жасалған және алғаш іске қосылғанда, көп жарнамаланған. Ол, дауыстарды біріктіру, текстік деректер, кабельдік теледидар, телеграф, пошта көгершіндері, өзара байланысқан банк консервілерін және әр қолданушының кез келген қалауын қанағаттандыратын басқа да ақпаратты тасымалдаудың біріккен жүйелерін қосқандағы, барлық әлемдік телебайланыс мәселелерін шешуге сөз берді. Бірақ бұл орындалмады. ATM да OSI кезіккен мәселелермен кезікті: нашар синхронизация, технология, жасау және саяси мәселелер. Осыған қарамастан ATM OSI-ға қарағанда сәттірек болды. Әлемдік қолданыста кеңінен ие болмаса да, DSL, телефон желісіндегі WAN арналарында кеңінен қолданылады.



3.19-сурет. ADSL хаттамасының жиыны

ATM арналық деңгейдің шекті ұзындықтағы ақпарат **ұяшықтарын (cells)** жіберетін арналық деңгейді көрсетеді. Асинхронды тасымалдау синхронды желі (SONET сияқты) бойынша бит сияқты ұяшықтарды әрдайым жіберудің қажет еместігін көрсетеді. Тасымалдауға дайын ақпараттар болғанда ғана ұяшықтар жіберіледі. ATM-байланысқа бағытталған технология. Әр ұяшықтың тақырыбына идентификатор есебінде виртуалды контур (virtual circuit) қойылады және құрылғы идентификаторды ішкі орналасқан байланыстарға ұяшық жіберуде қолданылады.

Әр ұяшықтың ұзындығы 53 байт: 48 байт пайдалы жүк және 5 байт тақырып. Кіші көлемді ұяшық қолдану арқылы ATM әр түрлі қолданушылар арасындағы физикалық деңгейдің өткізу алаңын айырады. Бұл бір арнамен дауыстық ақпарат пен тексттік ақпарат тасымалданғанда пайдалы. Үлкен тексттік дестелер дауыстық ақпараттың кешігуін тудырмайды. Ұяшықтың стандартсыз көлемін (53 байтты шынайы екінің дәрежесі болатын мәнмен салыстырыңыз) таңдау хаттаманы жазау барысында пайда болған саяси сұрақтар туындатады. Пайдалы ақпараттағы 48 байт Еуропаның 32-байттық ұяшықтары үшін және Американың 64-ке қолданғысы келген келісімдері. Хаттаманың қысқа сипаттамасын Сиу мен Джайн (Siu, Jain, 1995) ұсынды.

ATM желісі бойынша деректерді жеткізу үшін оларды тізбектес ұяшықта бейнелейді. ATM хаттамасына бейімдеуде бейнелеу үшін сегментке бөліп (**segmentation – бөлшектеу, assembly – жинау**), қайта жинау керек. Жіберуші әр түрлі қызмет үшін, мысалы, периодтық кадр деректерінің немесе дестелік ақпараттың периодты нұсқалары бейімдеудің бірнеше деңгейлерінде анықталған. Дестелік деректер үшін, негізінде, **AAL5 (ATM Aspiration Layer 5 – ATM 5 бейімдеу деңгейі)** қолданылады.

3.20-суретте AAL5 кадрды көрсетілген. Тақырыптың рөлі түйін, көлемі жайлы мағлұмат, қателерді табуда.

4-биттік CRC орындайды. Бұл PPP хаттамасы және Ethernet сияқты IEEE 802 стандарттары қолданатын CRC-дің өзі. Вонг және Кроукрофт (Wang, Crowfort, 1992) ұяшықтың тізбегіндегі реттіліктің істен шығуы сияқты дәстүрлі қателерді табуда күшті конфигурация екендігін көрсетті. Одан басқа жүктеуден AAL 5 кадрларында биттік толтыру бар (Pad). Олар жалпы соманы 48-ге бөлінетіндей ету үшін қосылады. Осылайша, кадрды бірнеше бүтін ұяшық санына бөлуге болады. Әр ұяшықта бар виртуалды контурдың идентификаторы адастырмай, қабылдаушыға жеткізетіндіктен, адресті кадрдың ішінде сақтау қажет емес.



3.20-сурет. PPP деректері бар AAL5 кадры

Сонымен, біз ATM хаттамасымен таныстық. Енді тек оны PPP хаттамасы ADSL арнасы бойынша қалай қолданатындығын айту ғана қалды. Бұл **PPPoA (PPP over ATM-ATM-ді қолдану арқылы PPP)** деп аталатын стандарттың көмегімен жүзеге асырылады. Шындығында, бұл стандартты стандарт деп айта алмаймыз (сондықтан ол 3.19-суретте жоқ). Бұл PPP хаттамалары мен AAL5 кадрларын бірге қолданудың айрықшасы түрі болып табылар. Бұл жайлы кеңірек RFC 2364 стандартында айтылады (Gross және т. б., 1998).

AAL5-тің пайдалы жүктеуі 3.20-суретте берілгендей тек PPP хаттамасының

Хаттама (Protocol) және Дерек (Payload) өрістерін қосады. Хаттамадағы өріс DSLAM қондырғысына пайдалы жүктеу IP дестесі не LCP сияқты басқа хаттаманың дестесі екендігін хабарлайды. Қабылдаушы жақ ұяшықтардың PPP ақпаратынан құралғандығын біледі, осылайша ATM виртуалды контуры тиісінше баптанады.

AAL5 кадрында PPP кадрын құрау механизмі қажет емес, барлық жұмысты AAL5 пен ATM атқарады. Қосымша кадрлар жасаудың мәні жоқ. PPP хаттамасы үшін CRC коды қажет емес, себебі AL5-те CRC коды бар. Қателерді табу механизмі ADSL арналарында қолданылатын физикалық деңгейдің кодтауын толықтырады. Бұл қателерді жоятын SONET желілерінде деректерді тасымалдауда қолданылатыннан қиын механизм. Себебі жай ғана-ADSL арналары шулырақ.

Түйіндеме

Арналық деңгейдің міндеті физикалық деңгейден түсетін өңделмеген бит ағындарын желілік деңгей қолдана алатын кадр ағынына айналдыру. Символдарды есептеу, символдық және биттік толтыру секілді кадрлау әдістері қолданылады. Арналық деңгей хаттамалары жоғалған не бүлінген кадрларды қайта жіберуге мүмкіндік беретін қателерді бақылау қасиетіне ие. Жылдам жіберушіден баяу қабылдаушыны қорғау үшін ағын бақылауы қолданылады. Сырғымалы терезе механизмі қателерді бақылау мен ағындарды басқаруда бірігіп қолданылады.

Сырғымалы терезе хаттамаларын қабылдаушы мен жіберушінің терезе көлеміне қарап бөлуге болады. Күтуші хаттаманың қос терезесі бірдей болады. Жіберушінің терезесі 1-ден үлкен болғанда (мысалы, сызық бойынша сигналды таратудың кешуілі үлкен болғанда, растауды күтуге кететін уақытты үнемдеу үшін жасайды), қабылдаушы күтілген кадрдан басқа кадрларды назарға алмаса болады немесе қажет болғанша, кадрларды буферге жинайды.

Біз осы тарауда бірнеше хаттама мысалдарын қарастырдық. Хаттама 1 идеалды тасымал ортасына арналған: қателіктер жоқ және идеалды қабылдағыш кез келген мөлшерде кіретін ағынды өңдей алады. Хаттама 2-де орта әлі де тасымал барысында қателіктер туындатпайды деп есептеледі, бірақ бұл хаттамада ағын бақылауы бар. Хаттама 3 кадрлардың реттік нөмірі бойынша және күту алгоритмі көмегімен қателерді өңдейді. Хаттама 4 екіжақты тасымал ұсынады және қосылған десте концепциясын қолданады. Хаттама 5-те n рет қайтарылатын сырғымалы терезе қолданылады. Хаттама 6 таңдалған қайталау және теріс растама (NAK) әдістерін қолдануымен ерекшеленеді.

Хаттамаларды дұрыстығын көрсететін (жоқ екендігін) әр түрлі әдіспен модельдеуге болады. Шекті автоматтар мен Петри желісінің модельдері осы мақсатта қолданылады.

Көптеген желілер SDLC, HDLC, ADCCP не LAPB сияқты битке бағытталған хаттамалардан құрылған. Олардың барлығы қолданушының деректері арасында кездейсоқ пайда болатын флагтік байттардың алдын алушы кадрларды шектеуші флагтік байттарды қолданады. Сонымен қатар, барлығы ағынды бақылау үшін сырғымалы терезе әдісін қолданады. Интернетте «нүктенен-нүктеге» байланысы хаттамасының негізінде PPP қолданылады.

СҰРАҚТАР

1. Жоғары деңгейдің хабарламасы 10 кадрға бөлінген, әрқайсысының межеге бүлінбей жету мүмкіндігі 80%. Егер арналық деңгей қателерді тексерумен қамтамасыз етпесе, орташа есеппен хабарламаны қанша рет жіберу керек?
2. Арналық деңгейде келесі символды кодтау қолданылады:
A:01000111; B:11100011; FLAG:01111110; ESC:11100000
A, B, FLAG, ESC символдарынан құралған кадр төмендегі кадрлау әдістерін қолданғанда екілік жүйеде қалай болады:
 - Символдарды санау
 - Символды толтырылатын флагтік байттар
 - Битті толтыралатын бастапқы және соңғы флагтік байттар
3. Символдық толтыру алгоритмі қолданылатын деректер ағынында келесі фрагменттер кездеседі:

A B ESC C ESC FLAG FLAG D

Символдық толтырудан соң шығатын ағын қандай болады?

4. Символдық толтыру алгоритмінің максималды үстеме шығыны қандай?
5. Сіздің бір топтасыңыз, өте сараң кадрдың соңғы флагтік байтынан кейін келесі кадрдың алдына флагтік байт қолдану ысырап, флагтік байтсыз да қолдануға болады деп тұжырымдайды. Осылайша бір байттық тасымалды үнемдеуге болады. Сіз осымен келісесіз бе?
6. Келесі бит ағыны биттік толтыру қолданғаннан кейін қандай болады: 011110111110111110?
7. Қандай жағдайларда осы тарауда талқыланған кері байланыссыз (мысалы, Хэмминг коды) хаттаманы кері байланысты хаттаманың орнына қолдану пайдалырақ болады?
8. Көбірек сенімділікпен қамтамасыз ету үшін жеке жұптық бит ұсынатын кей қателерді табу әдістерінде бір жұптық бит барлық жұп биттерді қосады, басқасы барлық тақтарды қосады. Бұл жағдайда ұзындық Хэмминг коды бойынша қанша болады?
9. Хэмминг кодының көмегімен 16 биттік хабарлама тасымалдануда. Қабылдаушы жалғыз биттік қателерді анықтап, дұрыстау үшін қанша бақылау биті қажет? Келесі хабарламаны тасымалдау үшін код қалай болады: 1101001100110101? Хэмминг коды битті жұптыққа тексереді деп есептеледі.
10. Қабылдаушы Хэмминг кодындағы 12-биттік реттілікті алады, оның он алтылық жүйедегі мәні 0xE4F-ке тең (он алты жүйелік түрде). Бастапқы реттілік қалай болады? Тек 1 бит ғана қате болады деп болжанады.
11. Деректерді тасымалдаудағы қателерді табудың бір әдісі әр қатар мен бағанаға жұптық битін қосу арқылы k биттен тұратын n қатарлы блок түріне негізделген. Мұндай сызба барлық жалғыз қателерді таба ала ма? Екі еселенген қателер ше? Үш еселенген қателерді ше?
12. Деректер 1000 бит блокта тасымалданады делік. Хэмминг кодына қарағанда, қателерді тауып, қайта жіберетін механизм өзінің жақсы жағын көрсеткендегі

максималды қателік коэффициенті қандай? Биттердегі қателіктер бір-біріне тәуелді емес және қайта жіберу барысында битте қателік кездеспейді деп қабылдаңыз.

13. n қатар мен k бағанадан тұратын блокта қателерді табу үшін көлденең және тігінен жұптық биттер қолданылады. 4 битті инверсиялауды таба алмау ықтималдылығы қанша?
14. 3.7-суретте көрсетілген түйіншектелген кодтауды қолдану арқылы 10101010 (солдан оңға) кіріс реттілігі үшін шығатын реттілікті және нөлдік ішкі жағдайды көрсетіңіз.
15. 1001 1100 1010 0011 хабарламасы Интернет (4-биттік сөз) үшін бақылау сомасын қолдану арқылы тасымалданады делік. Бақылау сомасы қандай болады?
16. $x^7 + x^5 + 1$ -ді жасаушы көп мүше $x^3 + 1$ -ге бөлгенде, қанша қалдық қалады?
17. 10011101 бит ағыны стандартты циклдық артықтық коды (CRC) көмегімен тасымалдануда. Жасаушы көп мүше $x^3 + 1$ тең. Қандай биттік реттілік шынымен тасымалданады? Сол жағынан санағандағы үшінші бит тасымал барысында инверсияланады. Қабылдаушының қатені табатынын дәлелдеңіз. Қабылдаушы қателерді таба алмайтын бір мысал келтіріңіз.
18. 1024-биттік хабарлама тасымалданады, құрамы 992 бит дерек және 32 бит CRC. Стандартталған IEEE 802 көпмүшесінің 32 дәрежесін қолдану арқылы CRC-ді қалай есептеуге болады? Келесі жағдайлардың әрқайсысы бойынша қабылдаушы хабарламадағы қателерді анықтай ала ма:
 - i. бір биттік қателік орын алды;
 - ii. бір биттік жекешеленген 2 қателік орын алды;
 - iii. бір биттік жекешеленген 18 қателік орын алды;
 - iv. бір биттік жекешеленген 47 қателік орын алды;
 - v. ұзындығы 24 бит қателік реттілігі орын алды;
 - vi. ұзындығы 35 бит қателік реттілігі орын алды;
19. ARQ хаттамасын талқылау барысында растама жоғалғандықтан бір кадрдың екі көшірмесін қабылдаушы қабылдаған сценарий мысалы келтірілді. Егер кадрлардың (дерек не растама) ешбірі жоғалмаса, қабылдаушы бір кадрдың бірнеше көшірмесін қабылдауы мүмкін бе?
20. Арнадағы деректерді тасымалдау жылдамдығы 4 Кбит/с-ке тең, ал сигналдың таралу уақыты – 20 мс. Хаттаманың тиімділігі кадрдың қандай ұзындығында, ең кем дегенде 50% болады?
21. Хаттама 3-тің көмегімен таймер қосылып қойса, жіберуші тасымалды бастай ала ма? Егер иә болса, бұл қалай болады? Егер жоқ болса, неліктен мүмкін емес?
22. Ұзындығы 3000 км T1 кабелі хаттама 5-ті қолдану арқылы 64-байттық кадрды тасымалдауда қолданылады. Егер сигнал тарату кешулі 6мкс/км болса, қанша битті кадрдың реттік нөміріне айыру керек?
23. Кадрдың реттік нөмірі үшін көп бит қолданылатын және нөмірлер екі рет қайталанбайтын сырғымалы терезе хаттамасын елестетіңіз. Қандай келісім терезенің төрт шегі мен терезенің көлемінің қатынасын байланыстырады?

24. Хаттама 5-тің *between* процедурасында $a < b < c$ шартының орнына $a <= b <= c$ шарты тексеріледі. Бұл арнаның дұрыстығына және оның тиімділігіне қаншылықты әсер етеді? Жауабыңызды түсіндіріңіз.
25. Ақпараттық кадр келгенде хаттама 6 кадрдың нөмірі күткеннен өзгеше не *nojiak* айнымалсының *true* мәніне тең екендігін тексереді. Екі жағдайдың орындалуы барысында NAK жіберіледі. Кері жағдайда көмекші таймер іске қосылады. Бағдарламаның тектінде *else* операторы өткізілген деп есептелік. Хаттаманың дұрыс жұмыс істеуіне бұл әсер ете ме?
26. Хаттама 6 бағдарламалық текстінен *while* циклінің үш қатары өшіріліп тасталған. Бұл хаттаманың дұрыс жұмыс істеуіне әсер ете ме, әлде тек жылдам әрекетіне әсер ете ме? Жауабыңызды түсіндіріңіз.
27. Жерден алыс ғаламшарға дейінгі қашықтық шамамен $9 \cdot 10^{10}$ м. Егер «нүктеден нүктеге» арнасында дерек тасымал 64 Мбит/с жылдамдығымен, тоқтау және күту хаттамасы кадрды тасымалдауда қолданылса, арнаның жүктелу коэффициенті қандай? Кадрдың көлемі 32 Кбайт және жарық жылдамдығы $3 \cdot 10^8$ м/с деп есептеңіз.
28. Өткен тапсырма шартымен басқа хаттама – сырғымалы терезе хаттамасы қолданылады. Жіберушінің терезесінің көлемі қандай болғанда, арна жүктеу коэффициенті 100% -ға тең болады? Жіберушінің және қабылдаушының хаттаманы өңдеу уақытын есепке алмасаңыз болады.
29. Бағдарламадағы хаттама 6-да кадрдың келу оқиғасын өңдейтін `frame_arrival`-да теріс растама қолданатын бөлік (NAK) бар. Бұл бөлікке қабылданатын кадр NAK болғандағы не басқа шарттар орындаудағы басқарулар беріледі. Осындай шарт болу керек мысал келтіріңіз.
30. Хаттама 6 қатесіз байланыс сызығында 1 Мбит/с жылдамдықпен қолданылады. Кадрдың максималды көлемі 1000 бит. Жаңа дестелер шамамен секундына бір рет құралады. Тайм-аут аралығы 10 мс периодта. Егер арнайы растама таймерлерін өшірсек, артық тайм-ауттар орын алады. Орташа есеппен бір хабарлама қанша рет тасымалданады?
31. Хаттама 6-да $MAX_SEQ=2^n-1$ тең. Тақырып битін тиімді қолдануда бұл шарт қаларлық, маңыздылығы көрсетілмейді. Хаттама $MAX_SEQ=4$ болғанда, дұрыс жұмыс істей ме?
32. 1000 биттік ұзындықтағы кадр өткізгіштік қабілеті 1 Мбит/с-пен спутниктік канал арқылы тасымалдануда. Растама әрқашан ақпараттық кадрларда жіберіледі. Кадрдың тақырыптары өте қысқа. 3 -биттік реттік нөмірлер қолданылады. Арналы тиімді қолданудың мәні қашан максималды болады, егер
1. күтуші хаттама;
 2. хаттама 5;
 3. хаттама 6 қолданылса.
33. Хаттама 6-ны қолдану арқылы өткізгіштік қабілеті 50 Кбит/с болатын жүктелген спутниктік арна арқылы тақырып пен қайта тасымалдау жасалынса, арнаның өткізгіштік қабілеті қанша бөлігі жоғалады? Дерек кадрлары 40 биттік тақырыптан және 3960 биттік деректен тұрады. Жерден спутникқа

дейінгі сигнал таралу уақыты 270 мс. АСК кадры ешқашан жіберілмейді. NAK кадрының көлемі 40 бит. Дерек кадрының қате ықтималдылығы 1 % құрайды, ал NAK кадры үшін елеусіз аз. Реттік нөмірлер 8 мбит алады.

34. Қатесіз 64 Кбит/с өткізгіштік қабілеті бар спутниктік арна 512-байттық деректі өте қысқа растамамен бір бағытта кері бағытқа жіберу үшін қолданылады деп есептелік. Терезенің көлемі 1, 7, 15, 127 болғандағы деректерді тасымалдаудың максималды жылдамдығы қандай болады? Жерден спутникке дейін сигнал тарату уақыты – 270 мс.
35. Ұзындығы 100 км кабел Т1 жылдамдығымен жұмыс істейді. Сигнал тарату жылдамдығы жарықтың вакуумдегі жылдамдығының 2/3 бөлігіне тең. Кабельге қанша бит сияды?
36. PPP және HDLC хаттамаларының негізгі идеялары бір-біріне жақын. Деректер өрісінде кездейсоқ кездескен флагтік байт кадрларды синхронизациялауда қате туындатпасы үшін HDLC хаттамасында биттік толтыру қолданылады. PPP хаттамасында осының орнына символдық толтыру қолданудың, ең кем дегенде бір себебін атаңыз.
37. PPP хаттамасы арқылы IP десте жіберудің минималды қосымша шығыны қандай? IP хаттамасының тақырыбын емес, тек PPP хаттамасының қосымша шығынын ескеріңіз.
38. 100 байттық IP-десте ADSL хаттамасының қабырғасын қолдану арқылы жергілікті (жергілікті) контур бойынша жеткізілуде. Қанша ATM ұяшығы жеткізіледі? Құрамын қысқаша сипаттаңыз.
39. Аталмыш жаттығудың мақсаты мәтінде сипатталған стандартты циклдық артық коды (CRC) арқылы қателерді табу механизмін жасау болып табылады. Екі бағдарлама жазыңыз: генератор және анықтаушы-верификатор. Генератор-бағдарлама ASCII тексті қатарында 0 және 1 есебінде көрсетілген n -биттік хабарламаны стандартты құрылғыдан есептейді. Екінші қатар k -биттік көп мүше болып табылады (ASCII-де). Құрылғының шығысында жіберілуге тиіс $n+k$ нөл мен бірден тұратын хабарлама шығарылады. Сосын есептелгені бойынша көп мүше есептелінеді. Верификатор-бағдарлама генератордың жұмысының нәтижесін есептейді және нәтиженің дұрыс-бұрыстығын көрсететін хабарлама шығарады. Соңында, бірінші қатардың бір битін берілгеніне қарай (мысалы, биттік кезектік нөмірі солдан 1-нөмірлі бит болып орналассын) инверттейтін жаңылыс (*alter*) бағдарламасын жазыңыз. Қалған деректер еш өзгеріссіз жеткізілсін. `<file>verifier` командалық қатарын енгізгенде, қолданушы деректердің қатесіз жеткізілгенін көруге тиіс. `<file | alter and | verifier` командалық қатарды енгізу арқылы жеткізілу барысында қателік кеткендігі жайлы хабарлама алуға тиіс.

4

ОРТАҒА ҚОЛЖЕТКІЗУДІ БАСҚАРУДЫҢ ІШКІ ДЕҢГЕЙІ

Барлық желілік технологияларды екі бөлікке бөлуге болады: түйіннен түйінге жалғануды қолданушы және кеңтаралымды хабарларды жүзеге асырушы желілер. Екі нүктелі байланысты біз *2-тарауда* қарастырған болатынбыз; бұл тарау толығымен кең таралымды арналар мен олардың хаттамаларына арналған.

Кез келген кең таратылымды желілердің басты мәселесі егер арнаны бір уақытта бірнеше компьютер пайдаланғысы келсе оны қалай бөлу және кімге беру керек деген сұраққа жауап беру. Мысал үшін алты қатысушысы және олардың әрқайсысы өзінің телефонын пайдаланатын конференцияны көз алдыңызға елестетіңіз. Олардың барлығы әрқайсысы қалғандарын ести алатындай байланысқан. Олардың біреуі өзінің сөзін аяқтаған кезде екеуі немесе үшеуі бір уақытта сөйлей бастауы мүмкін, яғни ыңғайсыздық туындайды. Жеке кездесулерде мұндай жағдайлар сыртқы құралдардың көмегімен болдырмай тасталады, мысалы сөйлеуге рұқсат алу үшін қол көтеру сияқты. Бір ғана арна қолжетімді болған жағдайда келесі кімнің сөйлейтінін анықтау анағұрлым қиынырақ. Аталған мәселені шешу үшін көптеген хаттамалар құрылған, олар жайлы осы тарауда талқылайтын боламыз. Әдебиеттерде кең таратылымды арналарды көптеген рұқсаты бар арна (**multiaccess channels**) немесе еркін рұқсаты бар арна (**random access channels**) деп атайды.

Келесі кімнің сөйлейтінін анықтайтын хаттамалар MAC (**Medium Access Control** – ортаға қолжетімдікті басқару) деп аталатын арналық деңгейдегі ішкі деңгейге жатады. MAC ішкі деңгейінің әсіресе жергілікті желіліктерде маңызы зор, себебі олар өздерінің табиғатында кең таратылымды арналар болып табылады. Ауқымды желілерде керісінше, екі нүктелі байланыстар қолданылады. Ерек-

ше жағдай тек спутниктік желілерге байланысты. Көптеген рұқсаты бар арналар жергілікті желілермен тығыз байланысты болғандықтан берілген тарауда негізінен жергілікті желілер талқыланатын болады. Оған МАС ішкі деңгей тақырыптарымен тікелей қатынасы жоқ сұрақтар қосылады, дегенмен басты тақырып арнаны басқару болады.

Іс жүзінде ортаға қолжетімдікті басқарудың ішкі деңгейі арналық деңгейдің төменгі бөлігі болып табылады. Сондықтан алдымен оны, сонан соң *3-тарауда* қарастырылған «нүкте-нүкте» хаттамасын қарастырған дұрыс болар еді. Десе де адамдардың көпшілігіне көп қатысушыларды қамтитын хаттамаларды түсіну екі қатысушысы бар хаттаманы оқығанан соң оңайға түседі. Сол себепті деңгейлерді қарастырған кезде біз әдеттегі төменнен жоғары қарай жүруден ауытқып, бағынышты саты бойынша сәл ауытқып кеттік.

4.1. АРНА ТАРАТУ МӘСЕЛЕСІ

Бұл тарауда қаралатын орталық мәселе кеңтаратылымды бір арнаның, оған таласатын, көптеген тұтынушылардың арасында таралуы. Арна қандай да бір географиялық аймақта сымсыз спектрдің бөлігі болуы немесе бірнеше түйіндер жалғанған бір өткізгіш болмаса оптикалық арна болуы мүмкін. Оның ешқандай маңызы жоқ. Екі жағдайда да арна әрбір тұтынушыны қалған тұтынушылармен қосады және кез келген арнаны толығымен жүктейтін тұтынушы деректерді тасымалдағысы келетін басқаларына кедергі болады.

Біз алдымен жалпы алғанда арнаны таратудың статикалық схеманың кемшіліктерін тегіс емес трафик жағдайында қарастырамыз. Сонан соң динамикалық схемаларды модельдеуге арналған түйінді ұсыныстарды баяндаймыз.

4.1.1. Арнаны статикалық тарату

Бір арнаны, көптеген бәсекелес тұтынушылардың арасында бөлудің дәстүрлі тәсілі, мысалы телефон кабелін көлемді мультиплекстеу схемаларының көмегімен немесе **FDM (Frequency Division Multiplexing – жиілікті тығыздау)** тәрізді арналарды тығыздау. N тұтынушы болған кезде өткізу жолағы ені бірдей N диапазонға бөлінеді және әр тұтынушыға осы жолақтың бірі беріледі. Бұндай схемада әркімнің жеке жиілік диапазоны болатын болғандықтан, тұтынушылар арасында жанжал туындамайды. Әрқайсысы тұрақты ағын немесе үлкен трафик топтамасын жөнелтетін абоненттер саны үнемі аз болса, онда жиілікті тығыздау таратудың қарапайым және тиімді механизмі бола алады. Сәйкес сымсыз мысал – FM-диапазонындағы радиостанциялар. Әр станция FM-жолағының бір бөлігін алады және оны өз сигналын таратып, тұрақты пайдаланады.

Алайда, дерек жөнелтушілердің үлкен және үнемі өзгеріп отыратын санын-

да немесе жүріп тұрған трафикте жиілікті тығыздау, арнаны жеткілікті түрде тиімді пайдалануды қамтамасыз ете алмайды. Егер тұтынушылар саны қандай да бір уақыт аралығында, жиілік спекторға бөлінген диапазондар санынан кем болса, онда спектордың көп бөлігі қолданылмай зая кетті дегенді білдіреді. Егер, керісінше, тұтынушылар саны қолжетімді диапазондар санынан көп болса, онда кейбір абоненттерге арнаға қол жеткізуге рұқсат берілмейді, тіпті арнаны алып алған абонент оның өткізгіштік қабілеттілігін пайдаланбаса да.

Тіпті, егер тұтынушылар санын қандай да бір тәсілмен, үнемі тұрақты етіп ұстасақ та, арнаны статистикалық ішкі арналарға бөлу тиімсіз. Негізгі мәселе, егер тұтынушылардың қандай да бір саны арнаны пайдаланбаса, онда спектордың бұл бөлігі зая кетеді. Олар торапты алып, онымен ештеңе тасымалдамайды және басқаларға да тасымалдатпайды. Статистикалық тарату, трафик өте тегіс емес, жиі қарбалас кезеңдері бар (қарабалас уақыт трафигі орташа 1000:1 болып келеді), компьютерлік жүйелердің көбіне жарамайды. Демек, уақытты көп бөлігінде арнаның үлкен бөлігі пайдаланылмайды.

Жиілікті статистикалық тығыздау сипаттамалары сәтсіз екенін, көпшілік қызмет көрсету теориясының қарапайым есептеулер мысалында жеңіл көрсетуге болады. Алдымен, Көлемі C бит/с арна арқылы кадр жөнелтудің T орташа кідіріс уақытын санайық. Кадрлар кездейсоқ ретпен, секундына орташа жылдамдықпен λ кадр келеді деп болжайық. Кадр ұзындығы кездейсоқ шама, орташа ұзындық $1/\mu$ битке тең. Осындай параметрлерді арнаның қызмет көрсету жылдамдығы секундына μC кадрға тең. Көпшілік қызмет көрсеті теориясы:

$$T = \frac{1}{\mu C - \lambda}$$

тең дейді. (Білімқұмарлар үшін: бұл М/М/1 кезегі үшін. Кадрлар арасындағы аралықтың кездейсоқ ұзақтығы және кадр ұзындығы экспоненциалды таратуға сәйкес келуі керек немесе пуассондық үрдістің нәтижесі болуы керек. Олар эквивалентті.)

Біздің мысалымызда, $C=100$ Мбит/с-қа тең, кадрдың орташа ұзындығы $1/\mu=10\ 000$ бит-ке тең, кадрдың келу жылдамдығы секундыны $\lambda=5000$ кадр. Онда $T=200$ мс. Назар аударыңыздар: егер біз кезекті құрастыру кезіндегі кідірісті есепке алмай, тек жәй ғана, ұзындығы 10 000 бит кадрды, өткізгіштік қабілеттілігі 100 Мбит/с желі бойымен тасымалдауға неше уақыт керек екенін есептесек, дұрыс жауап алар едік: 100 мкс. Бұл сан тек арна үшін тартыс жоқ кезде ғана қолайлы.

Енді арнаны N тәуелсіз ішкі арналарға бөлейік. Олардың әрқайсының өткізгіштік қабілеттілігі C/N бит/с. Әр ішкі арнадағы орташа кіріс жылдамдығы секундына λ/N кадрға тең болады. T орташа кідірісті есептеп, жаңа мән аламыз:

$$T_n = \frac{1}{\mu(C/N) - (\lambda/N)} = \frac{N}{\mu C - \lambda} = NT. \quad (4.1)$$

Бұл, бірнеше бөлікке бөлінген арна үшін кідірістің орташа мәні, барлық кадрлардың, бір ғажайып жолмен бір кезекке ұйымдастырылған арнадағы мәнінен N есе нашар болады. Бұл нәтиже сонымен бірге, банкомат орналасқан банк холында, адамдарды жеке банкоматтарға кезек алғанша, босаған машинаға келетіндей етіп, бір кезекке ұйымдастырған әлдеқайда жақсы екенін көрсетеді.

FDM-ге қолданылатын аргументтерді, арнаны статистикалық таратудың басқа тәсіліне жатқызуға болады. Егер уақытша тығыздауды (**TDM - Time Division Multiplexing – уақытша бөліп мультиплексті тасымалдау**) пайдаланып, әр тұтынушыға N кезек бөлу керек. Егер кезек пайдаланылмаса жоғалады. Дәл осылай, желіні физикалық түрде бөлуге болады. Егер 100-Мбиттік желіні алып, оны 10-Мбиттік он бөлікке бөліп, тұтынушыларды олардың арасында статистикалық түрде бөлсек, нәтижесінде орташа кідіріс 200 мкс-тен 2 мс өседі.

Сонымен, арнаны статистикалық тарату тәсілдерінің ешқайсысы жүріп тұрған трафик үшін жарамайды, сондықтан біз ары қарай динамикалық тәсілді қарастырамыз.

4.1.2. Арнаны динамикалық таратумен байланысты жорамалдар

Арнаны таратудың көптеген тәсілдерін қарастырмас бұрын, шешілетін мәселені тиянақты тұжырымдау керек. Осы аумақтағы барлық құрастырулардың негізінде келесідей бес жорамал жатыр.

1. **Тәуелсіз трафик.** Модель N тәуелсіз **станциялардан** (компьютерлер, телефон, дербес байланыс құралдары және т.б.) тұрады. Олардың әрқайсында тұтынушы немесе программа тасымалданатын кадрды құрастырады. Күтілетін кадрлар саны Δt уақыт аралығында $\lambda \Delta t$ тең, мұнда λ тұрақты (жаңа кадрлардың келу жылдамдығы). Кадр құрастырылысымен станция оқшауланып, кадр табысты жөнелтілгенше ештеңе жасамайды.
2. **Ортақ арна жайлы болжам.** Ортақ арна барлығына қолжетімді. Барлық станциялар ол арқылы деректерді жөнелтіп, қабылдай алады. Барлық станциялар тең деп саналады. Алайда, хаттамалар программалық түрде олар үшін әртүрлі рөлдер орнатуы мүмкін (мысалы, басымдылық).
3. **Бақыланатын қақтығыстар.** Егер екі кадр бір мезгілде жөнелтілсе, олар уақыт бойынша бір-бірін жабады, нәтижесінде сигнал бұзылады. Бұндай жағдай жанжал немесе қақтығыс деп аталады. Станциялардың барлығы қақтығысты анықтай алады. Қақтығыс салдарынан бұзылған кадр, қайта жөнелтілуі тиіс. Қақтығыс салдарынан болған қателіктен басқа қателік жоқ.
4. **Үздіксіз немесе дискреттік уақыт.** Уақыт үздіксіз деп саналады, сода кадрларды тасымалдау кез келген уақытта басталады. Кері жағдайда уақыт дискреттік кезеңдерге бөлінуі мүмкін (тақты, кейде слот деп аталады). Кадрды тасымалдау тек слот басымен басталады. Бір уақыт кезеңі 0, 1 немесе одан да көп кадрдан тұруы мүмкін. Бұл, кадрдың сәтті тасымалдануында немесе қақтығыс кезінде, еркін кезеңге сәйкес келеді.

5. Тасымалдаушыны бақылау немесе бақылаудың жоқтығы. Егер тасымалдаушыға бақылау жүргізілсе, станциялар тораптың бос немесе бос емес екенін, оны пайдаланбай тұрып анықтай алады. Егер арна бос емес болса, станциялар ол босамайынша кадр жөнелтпейді. Егер тасымалдаушыны бақылау жоқ болса, онда станциялар арнаның бос немесе бос емес екенін, пайдалануға талпынбай, анықтай алмайды. Олар жай тасымалдауды батайды. Тек сонан кейін ғана, тасымалдаудың табысты болғанын анықтай алады.

Осы келтірілген жорамалдар жайлы бірнеше сөз айтқан жөн. Бірінші жорамал, кадрлар, әртүрлі станцияларға да, және бір станция шеңберінде де бір-біріне тәуелсіз келеді дейді. Сонымен бірге, кадрлар болжаусыз, бірақ тұрақты жылдамдықпен құрастырылады. Іс жүзінде, бұл желілік трафиктің жақсы моделі емес, себебі, дестелер толық тізбектеліп, уақыт шкаласының белгілі бір диапозонында келеді (Paxson, Floyd, 1995; Leland және басқалар, 1994). Сонда да, пуассондық деп аталатын модельдер пайдалы, себебі олар математикалық түрде оңай сипатталады. Олар, уақыт өткеннен кейін өнімділіктің өзгеруі және түрлі жүзеге асырулар арасындағы айырмашылықтар жайлы жалпы ұсыныс беріп, хаттамаларды сараптауға көмектеседі.

Ортақ арна жайлы жорамал, іс жүзінде осы модельдің негізі болып санады. Ешқандай сыртқы байланыс арналы жоқ. Станциялар өзіне назар аудару үшін қолдарын көтеріп, мұғалімді өзінен сұрауға нандырады. Сондықтан жақсы шешім іздеуге тура келеді.

Қалған үш жорамал жүйенің инженерлік жүзеге асырылуына тәуелді. Сондықтан нақты хаттаманы оқығанда, біз қандай жорамалды дұрыс деп санау керек екенін айтамыз.

Қақтығыстар жайлы жорамал негізгі. Егер станциялар кадрлардың жоғалуымен келіспей, кадрларды қайта тасымалдайтын болса, оларға қақтығысты анықтайтын тәсіл керек. Сымды арналар үшін қақтығысты анықтайтын құрылғы пайдалануға болады. Сымсыз арнада қақтығысты анықтау қиынырақ. Олардың орын алғандығы жайлы күтілген растау кадры келмегенде тек факт бойынша білуге болады. Сонымен бірге, қақтығысқа түскен кейбір кадрларды сәтті қабылдауға болады – бұл сигнал типіне және қабылдаушы беттегі құрылғыға байланысты. Бұндай жағдайлар сирек кездеседі, сондықтан, біз қақтығыста болған барлық кадрлар жай жоғалады деп есептейміз. Сонымен бірге, біз орын алатын мәселелерді шешетін емес, қақтығыстарды болдырмауға арналған арнайы хаттамалармен танысамыз.

Уақыт үшін екі балама жорамал болуының себебі, дискреттік уақыт кейде өнімділікті өсіруге көмектеседі. Алайда, оны пайдаланатын станциялар негізгі сағатпен немесе бір-бірімен синхронизациялануы тиіс. Бұл әрдайым мүмкін бола бермейді. Біз екі нұсқаны да қарастырамыз. Әрбір нақты жүйеде мүмкін жорамалдың тек біреуі ғана жұмыс жасайды.

Осыған сәйкес, тасымалдаушыны бақылау да барлық жүйелерде жүзеге асырылмаған. Сымды желілер, әдетте, тораптың бос емес екенін біледі, ал сымсыз

желілерде тасымалдаушыны бақылау көбіне жоқ, сондықтан жеке станция жиілік диапазонының айырмашылығынан қалған барлық станцияларды «ести» алмайды. Сәйкесінше, кейбір жағдайда, станциялар бір-бірімен тікелей әрекеттесе алмағанда (мысалы, олар ақпаратты орталық түйін рөлін атқаратын кабельдік модем арқылы тасымалдайды), тасымалдаушыны бақылау қолжетімсіз. «Тасымалдаушы» сөзіне назар аударыңыз. Бұл жағдайда, ол арна арқылы таратылатын электр сигналын білдіреді.

Түсініспеушілікті болдырмас үшін, көпшілік қолжеткізудің бір де бір хаттамасы сенімді жеткізуге кепілдік бермейтінін айта кеткен жөн. Қақтығыс болмаған кезде де, қабылдаушы қандай да бір себептермен кадрдың бір бөлігі дұрыс көшірмеуі мүмкін. Сенімдікті, арналық немесе жоғары деңгейдің басқа құрама бөліктері қамтамасыз етеді.

4.2. КӨПШІЛІК ҚОЛЖЕТКІЗУ ХАТТАМАЛАРЫ

Көпшілік қолжеткізудің көптеген алгоритмдері белгілі. Келесі бөлімдерді ең қызықты алгоритмдер қарастырылып, олардың іс жүзінде қолданылуына мысалдары келтіріледі.

4.2.1. ALOHA жүйесі

Біздің алғашқа MAC тарихы, 1970 жылдары цивилизация жетпеген Гавайядан басталады. Бұл жағдайда «цивилизация жетпеген» деген, «жұмысшы телефон станциясы жоқ» дегенді білдіреді. Бұл қашықтықтағы арал тұтынушыларын Гонолуудағы басты компьютерге қосқысы келген, зерттеуші Норман Абрамсон (Norman Abramson) және оның Гавайя университетіндегі әріптестерінің өмірін жеңілдетті. Тұнық теңіз астымен кабель тарту тіпті қарастырылған жоқ, сондықтан зерттеушілер басқа шешім іздеді.

Табылған шешім жақын радиуста әрекет ететін радиожүйені пайдалана болды. Әр тұтынушы терминалы кадрды, ортақ жиілік шеңберіндегі орталық компьютерге жөнелтіп отырды. Сонымен бірге, арнаны тарату мәселесінің, қарапайым және әсем әдісі болды. Олардың еңбектері кейіннен көптеген зерттеулерге негіз болды (Schwartz, Abramson, 2009). ALOHA жүйесі атын алған Абрамсон жұмысында, тұрақты тасымалдаушы бар кеңтаратылымды радиобайланыс қолданылғанымен, негізгі ойды кез келген жүйеде пайдалануға болады. Мұнда тәуелсіз тұтынушылар бір арнаны пайдалану үшін тартысады.

Осы бөлімде, біз ALOHA жүйесінің екі версиясын қарастырамыз: таза және дискреттік. Олардың айырмашылығы: уақыт үздіксіз бе (таза версия) немесе барлық кадрлар сыйуға тиісті дискреттік кезеңдерге бөліне ме.

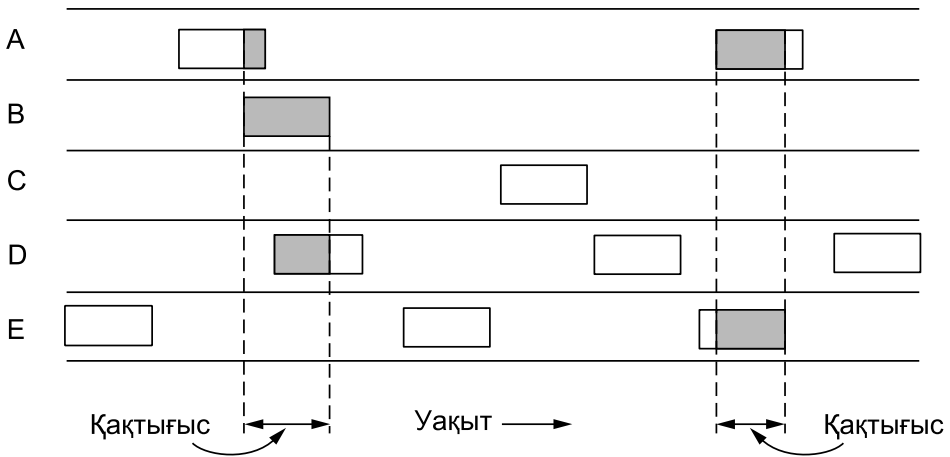
Таза ALOHA жүйесі

ALOHA жүйесінің негізінде қарапайым ой жатыр: тұтынушыда жөнелтуге дайын деректер пайда болысымен тасымалдауға рұқсат беру. Әрине, бұл кезде қақтығыс болады, және қақтығысқан кадрлар бұзылады. Жөнелтушіге осындай жағдайды анықтау білу керек. ALOHA жүйесінде әр станция өз кадрын орталық компьютерге жөнелткеннен кейін, ол барлық кадрларды қалған басқа станцияларға жөнелтеді. Жөнелтуші тасымалдаудың қаншалықты табысты болғанын білу үшін кеңтаратылымды тасымалдауды тыңдайды. Сымды жергілікті желі тәрізді, басқа жүйелерде жөнелтушінің тасымалдау кезінде қақтығысты анықтау мүмкіндігі бар.

Егер кадр жойылса, жөнелтуші қандай да бір кездейсоқ уақыт күтіп, кадрды қайта жөнелтуге тырысады. Кері жағдайда, күту уақытының бекітілген кезеңінде қақтығыстар қайта-қайта қайталанады. Бірнеше тұтынушылар бір ортақ арнаны осы тәсілмен пайдаланатын жүйеде, дүркін-дүркін осындай қақтығыстар болып тұратын жүйе бәсекелестігі бар жүйе деп аталады.

4.1-суретте ALOHA жүйесінде кадрды құрастыру мысалы келтірілген. Біздің суреттегі барлық кадрлардың мөлшері бірдей, сондықтан жүйенің өткізгіштік қабілеттілігі нақты осы кадрлардың бекітілген мөлшерінің арқасында ең жоғары деңгейде болады.

Тұтынушы



4.1-сурет. Таза ALOHA жүйесінде кадрлар абсолютті еркін уақытта тасымалданады

Екі кадр бір мезгілде арнаны алмақ болған кезде, олар соғысып, (4.1-суретте көрсетілгендей) қақтығыс орын алады. Екі кадр да бұзылады. Тіпті, егер екінші кадрдың бірінші биті алдыңғы кадрдың соңғы битімен жабылса да, екі кадр да толығымен жойылады (олардың бақылау қосындысы дұрыс мәнмен сәйкес

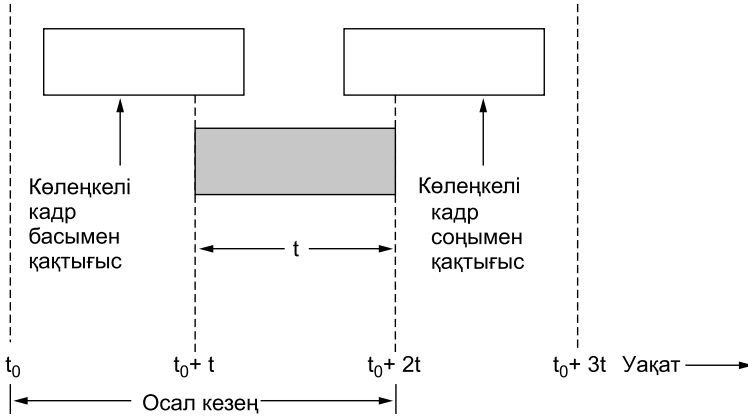
келмейді). Екі кадр да кейін қайта жөнелтілуі тиіс. Бақылау қосындысы ақпараттың толық жоғалғандығын, жартылай жоғалғаннан ажырата алмайды (міндетті емес те). Жоғалған ол жоғалған.

Бұл жағдайдағы ең қызығы, АЛОНА жүйесіндегі арнаның тиімділігі. Басқа сөзбен айтқанда, жөнелтілген кадрлардың қандай бөлігі кез келген жағдайда қақтығыстан қашып құтыла алады? Алдымен, өз компьютерлерінің (станциялардың) алдында отырған, тұтынушылардың шексіз көп санын қарастырайық. Тұтынушы үнемі екі жағдайдың бірінде болады: пернетақтадан енгізу және күту. Алдымен барлық тұтынушылар, жауап күтіп, мәтін енгізуді тоқтатады. Осы кезде станция ортақ арна арқылы орталық компьютерге жазылған жолдан тұратын кадр жөнелтеді және кадрдың сәтті жеткізілгендігі жайлы арнадан сұрайды. Егер кадр сәтті жеткізілсе, тұтынушы жауапты көріп теруді жалғастырады. Кері жағдайда тұтынушы кадрдың қайта жөнелтілуін күтеді, бұл бірнеше рет орындалуы мүмкін.

«Кадр уақыты» стандартты, ұзындығы бекітілген кадрды жөнелтуге қажет уақыт аралығын білдіреді делік (демек, кадр ұзындығын бөлінген деректер тасымалдау жылдамдығын). Осы сәтте біз, станциялар жөнелткен жаңа кадрлар, кадр уақытында N кадрға тең орташа мәнімен Пуассон бойынша жақсы таратылған деп болжаймыз. (Тұтынушылардың шексіз саны жөніндегі жорамал, N мәні тұтынушыларды оқшаулап тастау кезінде азаймайды деген кепілдік үшін қажет.) Егер $N > 1$ болса, бұл тұтынушылар бірлестігі кадрларды арна арқылы тасамалданатын жылдамдықтан үлкен жылдамдықпен құрастырып жатыр дегенді білдіреді. Демек, әрбір кадр қақтығыс зардабын шегеді. Біз $0 < N < 1$ деп болжаймыз.

Жаңа кадрлардан басқа, станциялар қақтығыс салдарынан бұзылған кадрларды қайталап жөнелтуді құрастырады. Жаңа және ескі кадрларда, кадр уақытында орташа G кадр мәнімен, Пуассон бойынша жақсы таратылған деп болжайық. Демек, $G \geq N$. Арна аз жүктелген кезде (демек $N \approx 0$) қақтығыстар аз болады, сондықтан қайта тасымалдаулар да аз болады, демек, $G \approx N$. Арна жүктелуі жоғары болған кезде қақтығыстар көп болады, демек $G > N$. Жүктеме қандай болса да, арна өнімділігі S , табысты тасымалдау ықтималдығына көбейтілген болжамалы жүктеме G -ге тең болады, демек, $S = GP_0$. Мұндағы P_0 – қақтығыс нәтижесінде кадрдың жөнелтілмеу ықтималдығы.

Егер, 4.2-суретте көрсетілгендей, кадрдың тасымалдану уақыт аралығында басқа ешбір кадр жөнелтілмесе, ол қақтығысқа ұшырамайды. Қай жағдайда көлеңкеленген кадр бұзылмай жөнелтіледі? Айталық, t – кадрды жөнелтуге қажет уақыт. Егер қандай да бір тұтынушы t_0 және $t_0 + t$ уақыт аралығында кадр құрастырып жөнелтсе, онда кадрдың соңы көлеңкеленген кадрдың басымен қақтығысады. Бұл жағдайда көлеңкеленген кадрдың тағдыры, оның бірінші биті жөнелтілгенше шешіліп қойылады. Алайда, таза АЛОНА жүйесінде станциялар тасымалдау басталғанша арнаны тыңдамайтын болғандықтан, олардың арнаның бос емес және ол арқылы кадр жөнелтіліп жатқанын білу әдісі жоқ. Дәл осылайшы, t_0 және $t_0 + 2t$ аралығында жөнелтіле басталатын кез келген кадр, көлеңкелі кадыр соңымен қақтығысады.



4.2-сурет. Көлеңкелі кадр үшін осал уақыт кезеңі

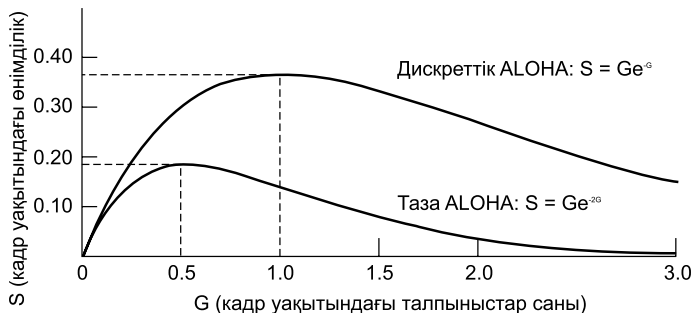
Кадр уақытында G кадр күтіліп тұрған кезде, k құрастырылу ықтималдығын Пуассон таратылу формуласы бойынша есептеуге болады:

$$Pr[k] = \frac{G^k e^{-G}}{k!} \tag{4.2}$$

Сонымен, осы уақыт кезеңі аралығында нөл кадр құрастыру ықтималдығы e^{-G} тең. Ұзындығы екі кадр уақыт аралығында құрастырылған кадрлардың орташа саны $2G$ -ге тең. Осал уақыт кезеңі аралығында ешкімнің тасымалдауды бастамау ықтималдығы $P_0 = e^{-2G}$ тең. $S = GP_0$ екенін ескере отырып, алатынымыз:

$$S = Ge^{-2G}.$$

Арна өнімділігінің ұсынылған трафикке тәуелділігі 4.3-суретте көрсетілген ең үлкен өнімділік $S=1/(2e)$, бұл $G=0,5$ болғанда, шамамен 0,184-ке тең. Басқаша айтқанда, біз үміттенетін ең жақсы жағдай – арнаны 18% пайдалану. Бұл нәтиже біршама көңіл қалдырады, алайда әркім өз қалауынша жөнелтетін жағдайда жүз пайыздық табысты күту қиын.



4.3-сурет. ALOHA жүйесі үшін арна өнімділігінің ұсынылған трафикке тәуелділігі

Дискреттік ALOHA жүйесі

ALOHA жүйесі пайда болғаннан кейін Робертс (Roberts, 1972), ALOHA жүйесінің тиімділігін көрсететін тәсілдің сипаттамасын жариялады. Оның ұсынысы, уақытты бір кадр уақытына сәйкес келетін, **слоттар** (немесе **тактілер**) деп аталатын дискреттік аралықтарға бөлу болды. Бұндай тәсілде, тұтынушылар анықталған уақыттық шектеулермен келісуі тиіс болады. Синхрондауға қол жеткізудің бір тәсілі, әр кезең басында синхрондаушы сигнал жіберетін, арнайы станция орнату.

Дискреттік ALOHA деген атпен танымал Робертс жүйесінде, Абрамсонның таза ALOHA жүйесіне қарағанда, станциялар тасымалдауды тұтынушы жолды енгізгеннен кейін бірден бастай алмайды. Оның орнына ол жаңа тактінің басталуын күту керек. Енді, осал уақыт аралылығы екі есе қысқарады. Бұны түсіну үшін, 4.3-суретке қараңыз, енді қандай қақтығыстар болуы мүмкін. Мәтіндік кадр жөнелтілетін уақыт аралығында арнада тасымалданудың болмау ықтималдығы e^{-G} тең. Нәтижесінде, алатынымыз:

$$S = Ge^{-G}. \quad (4.3)$$

4.3-суретінде көрсетілгендей, дискреттік ALOHA жүйесінде $G=1$ болғанда, қарбалас кезең болады. Бұл жағдайда арна өнімділігі $S=1/e$ құрайды, шамамен 0,368, демек таза ALOHA жүйесінен екі есе жоғары. Егер жүйе $G=1$ шартымен жұмыс жасаса, онда бос слоттың пайда болу ықтималдығы 0,368-ге тең (4.2 теңдеуінен). Дискреттік ALOHA жүйесі үшін оңтайлы жағдайда, аралықтың 37% бос болады, 37% – кадрлар табыспен жөнелтіледі және 26% – қақтығысқан кадрлар. G уақыт бірлігінде тасымалдауға талпыныстар саны өссе, бос аралықтар саны азаяды, бірақ шиеленіс саны көбейеді. Шиеленіс санының қаншалықты тез өсетінін көру үшін, мәтіндік кадрды тасымалдауды қарастырайық. Оның қақтығысқа түспеу ықтималдығы e^{-G} тең. Іс жүзінде, бұл осы такт аралығында, қалған барлық станциялардың үнсіз қалу ықтималдығы. Сонымен, қақтығыс ықтималдығы $1 - e^{-G}$ тең. Кадрды k талпыныста (демек, соңынан табысты тасымалдау болатын, $k-1$ қақтығыстан кейін) тасымалдау ықтималдығы:

$$P_k = e^{-G} (1 - e^{-G})^{k-1}$$

Терминалдан енгізілген бір жолды тасымалдауға талпыныстың күтілетін саны:

$$E = \sum_{k=1}^{\infty} k P_k = \sum_{k=1}^{\infty} k e^{-G} (1 - e^{-G})^{k-1} = e^G.$$

Бір кадрды тасымалдау талпыныс саны E экспоненциалды түрде G уақыт

бірлігіндегі тасымалдау талпыныстарына тәуелді болғандықтан, арнадағы жүктемені біраз ұлғайту оның өнімділігін төмендетеді.

Дискреттік ALOHA жүйесі, алғашқыда, сірә, маңызды емес болып көрінетін бір себептен, өте қажет. Ол 1970 жылдары пайда болды, бірнеше тәжірибелік жүйелерде қолданылды, содан кейін ұмыт болып қалды. Кабельдік желілер арқылы Интернетке қол жеткізу тәсілі ойлап табылған кезде тағы да жалғыз арнаны, бәсекелес абоненттер арасында тарату мәселесі шықты. Сол кезде, сөреден шаң басқан дискреттік ALOHA жүйесінің сипаттамасы алынды. Кейіннен, бірнеше RFID тәгтері, бір RFID санаушымен хабарласпақ болған кезде, ескі мәселенің тағы нұсқасы пайда болды. Бірнеше басқа ойлармен толықтырылған дискреттік ALOHA жүйесі, тағы да жағдайды тығырықтан алып шықты. Әбден жұмыс қаблетті хаттамалар және тәсілдер, саяси себептермен (мысалы, қандай да бір ірі компания, әлемде барлығы тек оның тауарын тұтынсын деген ниетпен) немесе үнемі өзгеріп отыратын технологиялар себебінен, сұранысқа ие болмай қалған жағдайлар көп. Алайда, біраз жылдар өткеннен кейін, бір дана адам, жаңа мәселені шешетін ескі бір әдістің бар екенін есіне түсіреді. Осындай себептермен біз осы тарауда, қазір кең қолданылмайтын, бірақ болашақта талап етілуі мүмкін, бірнеше әсем хаттамаларды қарастырамыз. Әрине, егер олардың бар екенін көптеген желі құрастырушылар білетін болса. Сонымен бірге, қазір кеңінен қолданылатын хаттамаларды да қарастырамыз.

4.2.2. Тасымалдаушыны бақылап көпшілік қолжеткізу хаттамасы

Дискреттік ALOHA жүйесінде арнаны пайдаланудың қолжетімді ең үлкен коэффициенті $1/e$ тең. Мұндай қарапайым нәтиже таңғаларлық жағдай емес, себебі станциялар басқа станциялармен санаспай, деректерді жөнелкісі келген уақытта жөнелтеді. Бұндай жүйеде қақтығыстар санының жоғары болатындығы сөзсіз. Алайда, жергілікті желілерде үрдісті, станциялар бір-бірінің іс-әрекетін есепке алып отыратындай етіп ұйымдастыруға болады. Осының арқасында, арнаны пайдалану коэффициентін $1/e$ -ден әлде қайда жоғарылатуға болады. Біз бұл бөлімде арна өнімділігін жақсартуға көмектесетін кейбір хаттамаларды қарастырамыз.

Станциялар деректер тасымалдау ортасын тыңдап, сәйкесінше әрекет ететін хаттамалар – **тасымалдаушыны бақылауы бар хаттамалар** деп аталады. Бұндай хаттамалардың бірнешеуі құрастырылып, әлдеқашан сарапталып қойған. Мысалы, Кляйнрок және Тобаги (Kleinrock, Tobagi, 1975) жұмыстарын қараңыз. Біз тасымалдаушыны бақылауы бар хаттамалардың бірнешеуін қарастырамыз.

Табанды және табанды емес CSMA

Біз қарастыратын тасымалдаушыны сұрауы бар хаттама **бірінші табанды CSMA хаттамасы (Carrier-Sense Multiple Access – тасымалдаушыны бақылап көпшілік қолжеткізу)** деп аталады. Қарапайым CSMA схемасы үшін ұзын атау.

Станцияларды тасымалданатын деректер пайда болған кезде, олар алдымен арнаны тыңдайды, бос па, әлде бос емес пе. Арна бос емес болған жағдайда станция оның босағанын күтеді. Сонан кейін станция кадр жөнелтеді. Егер қақтығыс орын алса, станция кездейсоқ уақыт аралығында күтеді, сонан кейін қайтадан арнаны тыңдап, егер боис болса, кадрды қайта жөнелтуге тырысады. Станция, арнаның бос болғанын анықтаған кезде, кадрды 1 ықтималдықпен жөнелтетін болғандықтан, мұндай хаттама табандылығы 1 CSMA деп аталады.

Бұл хаттамадан, кейбір сирек кездесетін, бір мезгілде жөнелтілген жағдайлардан басқа уақытта қақтығыс мүлде болмайды деп күтуге болар еді, бірақ олай емес. Егер екі станция үшінші станция жөнелтіп жатқан кезде дайындық қалпына келетін болса, онда олар екеуі де тасымалдаудың аяқталғанын күтеді, бірақ екеуіде бір мезгілде жөнелте бастайды, сондықтан қақтығыс орын алады. Егер, олар соншалық шыдамсыз болмаса, қақтығыстар саны аз болар еді.

Тағы сәл тереңірек қазсақ, онда қақтығыс санына сигналдың таралу кідірісі әсер ететінін көруге болады. Бір станция жөнелте бастағанда, басқа станция да дайын болып, арнаны сұрай бастау ықтималдығы бар. Егер бірінші станция сигналы екіншісіне әлі жетпесе, екінші станция арна бос деп шешеді де, ол да жөнелте бастайды, нәтижесі – қақтығыс. Ықтималдық, арнаға сиятын кадрлар санына тәуелді немесе осы арна үшін «кідіріске көбейтілген өткізгіштік жолақ» көрсеткішіне байланысты. Егер жергілікті желілердің көпшілігінде болатындай таралу кідірісі аз, кадрлардың кішкене бөлігі ғана арнаға сиятын болса, онда қақтығыс аз болады. Таралу уақыты ұзақ болған сайын, қақтығыс ықтималдығы жоғарылайды және хаттама өнімділігі төмендейді.

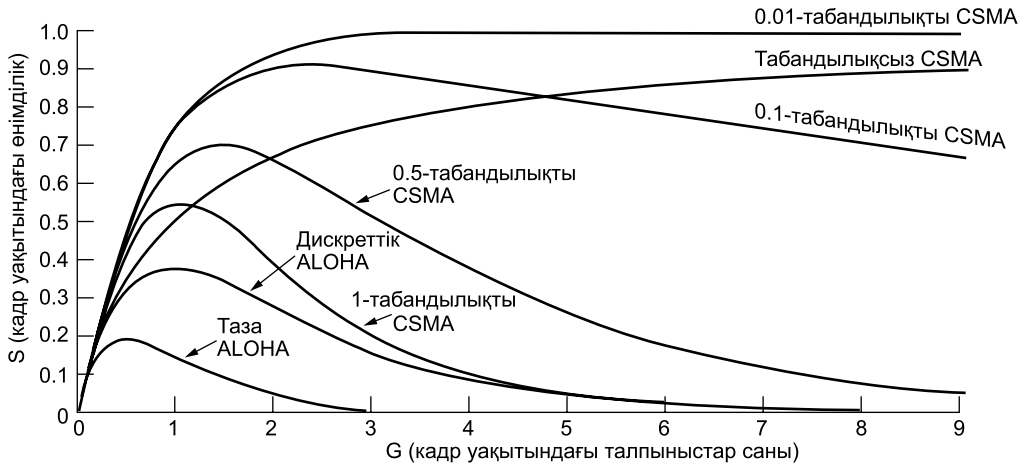
Алайда, тіпті осындай жүйенің өзі таза ALOHA жүйесінен жақсы. Себебі, екі станция да үшіншісі тасымалдап жатқанда, жөнелтуден тартынады. Дискреттік ALOHA жүйесі жайлы да дәл осыны айтуға болады.

Тасымалдаушыны сұрауы бар екінші хаттама **табандылықсыз CSMA хаттамасы** деп аталады. Бұл хаттамада станциялардың арна босаған сәтте бірден жөнелтуге ұмтылуын тежеуге талпыныс жасалған. Жоғарыда айтылғандай, тасымалдауды бастамас бұрын станциялар арнаны сұрайды. Егер осы сәтте ешкім жөнелтіп жатпаса, станция өзі жөнелте бастайды. Алайда, егер арна бос болмаса, алдыңғы хаттамадағыдай станция арнаны бірден алып алу үшін, үнемі тыңдап, босағанын күтпейді. Оның орнына станция кездейсоқ уақыт аралығында күтеді, сонан кейін қайтадан арнаны тыңдайды. Сірә, бұл алгоритм, табандылығы 1 CSMA хаттамасына қарағанда, арнаны жақсырақ пайдалануға және үлкен күту аралығын әкелуі тиіс болар.

Соңында біз қарастыратын үшінші хаттама, бұл **табандылықты CSMA хаттамасы**. Ол дискреттік арналарда пайдаланылады және келесідей жұмыс жасайды: станция дайын болғанда, арнаны сұрайды. Егер арна бос болса, ол р ықтималдықпен тасымалдауды бастайды. Ол $q=1-p$ ықтималдықпен тасымалдаудан бас тартып, келесі тактің басталуын күтеді. Бұл үрдіс кадр жөнелтілгенше немесе басқа станция жөнелтуді бастағанша қайталанатын. Соңғы жағдайда, станция қақтығысы кезіндегідей әрекет етеді. Ол кездейсоқ уақыт аралығында күтіп, содан

кейін қайта бастайды. Егер арнаны бірінші тыңдау кезінде ол бос болмаса, станция келесі уақыт аралығында күтеді, содан кейін сол алгоритм қайта қолданылады. IEEE 802.11-да табандылықты CSMA хаттамасының жақсартылған версиясы пайдаланылады. Біз бұл хаттаманы төменде қарастырамыз.

4.4-суретінде арна өнімділігінің ұсынылған кадрлар ағынына есептік тәуелділігі, үш хаттама, сонымен бірге таза және дискреттік ALOHA үшін бейнеленген.



4.4-сурет. Арнаны пайдаланудың оның жүктелуіне тәуелділігін түрлі көпшілік қолжеткізу хаттамалары үшін салыстыру

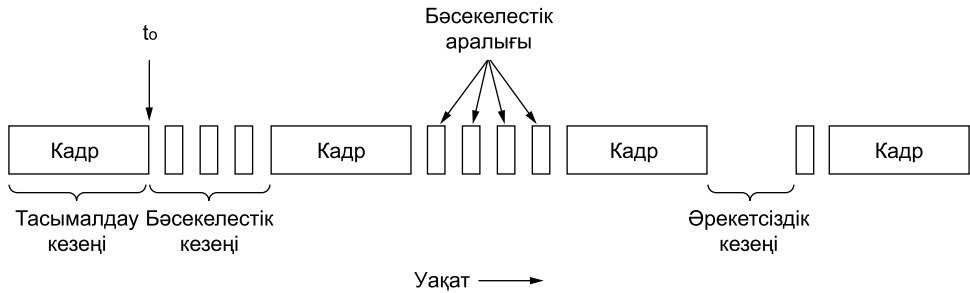
Қақтығыстарды анықтауы бар CSMA хаттамасы

Табанды және табанды емес CSMA хаттамалары, әрине ALOHA жүйесінің жақсартылуы болып саналады, себебі олар ешбір станцияның арнасы бос емес кезде тасымалдауды бастамайтынына кепілдік береді. Алайда, егер екі станция арнаның бос екенін анықтап, тасымалдауды бір мезгілде бастаса, бәрібір қақтығыс орын алады. Тағы бір жақсартылу – станциялардың қақтығысты тез анықтау мүмкіндігі және тасымалдауды эп-сәтте тоқтатады (оны аяқтауға тырыспай), себебі деректер бәрібір бұзылды. Бұл стратегия уақытты үнемдейді және арна өнімділігін жақсартады.

Мұндай хаттама, **CSMA/CD (Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection – тасымалдаушыны бақылауы және қақтығыстарды анықтауы бар көпшілік қолжеткізу)** деп аталады. Бұл хаттама, ерекше танымал Ethernet ЖЕЖ-нің негізі болып саналады, сондықтан біз CSMA/CD хаттамасын толығырақ қарастырамыз. Қақтығысты анықтаудың аналогтық үрдіс екенін түсінген дұрыс. Станция құрылғылары арнаны тасымалдау кезінде «тыңдап» отыруы керек. Егер ол сигналды салыстырып оқып, оның жөнелтілгеннен айырмашылығы бар

екенін сезсе, онда қақтығыс болғаны. Салдары мынадай, қабылданған сигнал жөнелтілген сигналмен дәлме-дәл келуі міндетті емес (бұл сымсыз желілерде өте қиын, олар жөнелтілген сигналдан 1 000 000 есе әлсіз сигналды қабылдайды) және тығыздаудың қақтығысты анықтауға мүмкіндік беретін әдісін таңдау керек (мысалы, екі 0-вольттік сигналдың қақтығысын анықтау тіпті мүмкін емес).

CSMA/CD хаттамасында, жергілікті желілердің басқа да көптеген хаттамаларындай, 4.5-суретте көрсетілген тұжырымдамалық үлгісі қолданылады. Станциялардың бірі t_0 уақытында тасымалдауды аяқтады. Басқа станциялардың барлығы тасымалдауға дайын, енді олар өз кадрларын жөнелтуге ұмтылады. Егер, екі немесе одан да көп станция бір мезгілде тасымалдауды бастаса, онда қақтығыс орын алады. Қақтығысты анықтап, станциялар тасымалдауды тоқтатады. Олар кездейсоқ уақыт аралығында күтіп, осы сәтте басқа станция тасымалдауды бастаған жоқ, деген шартпен жөнелтуді қайта бастайды. Сонымен, біздің CSMA/CD хаттама үлгіміз кезек-кезек бәсекелестік және арнаның бос тұру (барлық станциялар үнсіз болған кез) кезеңдерінен тұрады.



4.5-сурет. CSMA/CD хаттамасы үш қалып-күйдің бірінде болуы мүмкін: бәсекелестік, тасымалдау және бос тұру

Арна арқылы тасымалдауға тартысу алгоритімін толығырақ қарастырайық. Айталық, екі станция t_0 уақытында бірге тасымалдауды бастады делік. Олардың қақтығыс болғанын анықтағанша қанша уақыт кетеді? Бұл сұраққа жауап бәсекелестік уақытының ұзындығына байланысты, демек, кідіріс шамасы және арна өнімділігі.

Қақтығысты анықтауға кететін ең аз уақыт, сигналдың бір станциядан екіншісіне дейін таралу уақытына тең. Осы пайымдауға сүйене отырып, өз кабелі арқылы сигнал өтетін уақыт аралығында, қақтығыс болғанын естімеген станция арнаны алғанына сенімді болады. «Алу» (seized – захватить) термині барлық станциялар осы станцияның тасымалдап жатқаны біледі және тасымалдауға ұмтылмайды дегенді білдіреді. Алайда бұл тұжырым дұрыс емес.

Ең нашар жайдай сценарийін қарастырайық. Ең қашық орналасқан екі станция арасындағы сигнал өту уақыты τ тең делік. Станциялардың бірі t_0 уақытында тасымалдауды бастайды. Сигнал ең қашық станцияға жетуге бір сәт қалғанда, $t-\varepsilon$

уақыт аралығынан кейін, ол станция да тасымалдай бастайды. Әрине, ол әп-сәтте қақтығыс болғанын біліп тоқтайды, бірақ қақтығыстан шыққан шу жөнелтуші станцияға тасымалдау басынан 2τ -е уақыт өткенен кейін жетеді. Басқа сөзбен айтқанда, станция тасымалдау басынан 2τ с өткенше, арнаны алғанына сенімді бола алмайды.

CSMA/CD хаттамасындағы бәсекелестікті аралық ені 2τ дискреттік ALOHA жүйесі деп түсінуге болады. Ұзындығы 1 км коаксиалды кабельде $\tau \approx 5$ мкс. CSMA/CD және дискреттік ALOHA жүйесінің айырмашылығы, бірінші жағдайда тек бір ғана станция тасымалдай алатын слоттан кейін (демек, арна алынған кезде) кадрдың қалған бөлігін жөнелту жүреді. Бұл, кадр уақыты сигналдың арна бойымен таралу уақытынан әлдеқайда ұзағырақ болса, өнімділікті біршама жақсартуға мүмкіндік береді.

4.2.3. Қақтығыссыз хаттамалар

CSMA/CD хаттамасында станция арнаны алғаннан кейін қақтығыс болмайтындығына қарамастан, олар бәсекелестік кезеңінде орын алуы мүмкін. Бұл қақтығыстар жүйе өнімділігін төмендетеді, әсіресе, өткізгіштік жолақтың кідіріс мәніне көбейтіндісі үлкен болған кезде, демек кабель ұзындығы үлкен (және τ мәні үлкен) және кадр қысқа болғанда. Қақтығыс тек өткізгіштік қабілеттілікті төмендетіп қоймай, кадр тасымалдау уақытын тұрақсыз етеді. Бұл, IP хаттамасы арқылы тасымалданатын дыбыстық деректер тәрізді нақты уақыт режимінде тасымалданатын трафик үшін жарамсыз. CSMA/CD тәсілі әмбебап емес болып шықты.

Бұл бөлімде, біз арнаны алу құқығы үшін тартыс мәселесін шешетін хаттамаларды қарастырамыз. Олар бұл мәселені тіпті бәсекелестік кезеңінсіз шешеді. Олардың көбі бүгінде ірі жүйелерде қолданылмайды, алайда осындай құбылмалы салада, тамаша сипаттамалары бар, болашақта кез келген уақытта пайдалануға болатын, бірнеше хаттаманың қорда жатқаны жақсы.

Төменде сипатталатын хаттамаларда N станция бар деп саналады. Олардың әрқайсысының, 0-мен $N-1$ аралығында, программаланған тұрақты, бірегей адресі бар. Кейбір станциялардың біраз уақыт бөлігінде сылбыр болуы маңызды емес. Сонымен бірге, сигналдың таралу кідірісі есепке алынбайтындай аз деп болжаймыз. Негізгі сұрақ өзгермейді: кадр жөнелтілгеннен кейін қандай станцияға арна беріледі? Біз әлі де 4.5-суретте бейнеленген модельді, оның дискреттік бәсекелестік кезеңдерімен пайдаланамыз.

Биттік карта хаттамасы

Біз қарастыратын, қақтығыссыз бірінші хаттама, **биттік картаның негізгі тәсілі (basic bit-map method)** деп аталады. Бәсекелестіктің әр кезеңі N уақыт аралығынан тұрады. Егер, 0-ші станцияда жөнелтілетін кадр бар болса, ол 0-ші аралықта бірлік битті жөнелтеді. Басқа станцияларға бұл кезде тасымалдау рұқсат

етілмейді. 1-ші аралық уақытында 1-ші станция да, өзінде жөнелтілетін кадр бар екенін хабарлап, 0 немесе 1 битін жібереді. Нәтижесінде, N аралығы аяқталғанша, барлық N станция кімнің тасымалдағысы келетінін біледі. Осы кезде олар өз реттік нөмірлеріне сәйкес тасымалдауды бастайды (4.6-суретте $N=8$ үшін мысал келтірілген).



4.6-сурет. Биттік картаның базалық хаттамасы

Барлығы осы сәтте кімнің тасымалдайтын кезегі екенін білетін болғандықтан, қақтығыс болмайды. Соңғы станция өз кадрын жөнелткеннен кейін, N аралықтан тұратын тапсырыс берудің жаңа кезеңі басталады. Егер станция тасымалдаудан бас тартқаннан кейін бірден дайындық қалпына келетін болса (жөнелтуге кадр алып жатыр), демек оның жолы болмағаны, ол енді келесі айналымды күтуі керек.

Тасымалдау ниеті нақты жөнелту алдында хабарланатын хаттамалар **қорда сақтауы бар хаттамалар (reservation protocols)** деп аталады. Олар қақтығысты болдырмас үшін арнаны алдын ала белгілі бір станция үшін қорда сақтайды. Ыңғайлылық үшін уақытты тапсырыс берілгеннен бастап бір биттік аралықпен өлшейміз және мұнда деректер кадры d уақыт бірлігінен тұрады.

Арна әлсіз жүктелген кезде, биттік карта ішінара кадрмен алмасып, қайта-қайта қайталанып отырады. Осы жағдайды реттік нөмірі кішкене станция үшін қарастырайық, мысалы, 0 және 1 станциялары үшін. Әдетте, тасымалдауға қажеттілік туындаған кезде, ағымдағы уақыт кезеңі биттік картаның ортасында болады. Орта есеппен алғанда, станция қорда сақтаудың ағымдағы уақыт кезеңі аяқталғанша $N/2$ уақыт күтеді және қорда сақтаудың келесі N кезеңін күтеді. Бұл, тасымалдану басталғанша, екі кезең арасында тасымалданып жатқан кадрларды есепке алмағанда.

Реттік нөмірлері үлкен станциялардың болашағы әлдеқайда жарқын. Күту уақыты орта есеппен жарты айналымды құрайды ($N/2$ бір биттік аралық). Реттік нөмірі үлкен станциялар келесі айналымды сирек күтеді. Реттік нөмірі кішкене станцияларға орта есеппен $1,5N$ аралық күту керек болса, реттік нөмірі үлкен станциялар – $2N$ аралық, барлық станциялар үшін орташа күту аралығы N аралықты құрайды.

Арна төмен жүктелгенде, оның өнімділігін есептеу жеңіл. Кадрдың үстемешығындары кадр ұзындығы d болғанда, N битті құрайды. Тиімділік $d/(N+d)$ тең.

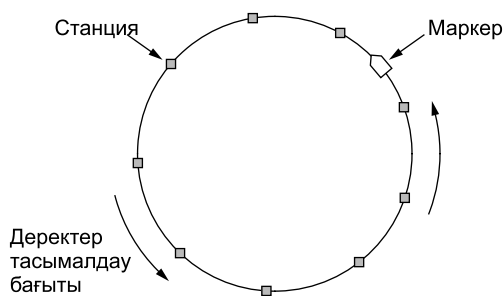
Барлық станциялар тасымалдауға ниет білдіріп, арна қатты жүктелген кезде,

N биттен тұратын тапсырыс беру аралығы, N кадрмен алмасып отырады. Мұнда, бір кадрды тасымалдауға кететін үстеме шығындар бір битті құрайды, ал тиімділік $d/(d+1)$ тең. Кадр үшін, ол өзінің ішкі кезек басына түскен кезде, орташа кідіріс уақыты, өз станциясы ішінде кезекте күту уақыты мен қосымша $(N-1)d+N$ бір биттік аралыққа қосындысына тең. Бұл аралық, станциялардың басқа барлық станциялар кадрды жөнелткенше және келесі биттік картаны алғанша қаншалықты ұзақ күтетінін көрсетеді.

Маркерді тасымалдау

Биттік карта хаттамасының мағынасы, әр станция деректерді кезекпен алдын-ала анықталған ретпен тасымалдауға мүмкіндік беру. Келесі әдіс осыған ұқсас, сол алдын-ала анықталған рет бойынша бір станциядан келесісіне, **маркер (token)** деп аталатын кішкене мәлімдемені жөнелтуге негізделген. Егер, станцияда кезекте жөнелтуге дайын кадр бар болса, және станция маркер алса, ол маркерді келесі станцияға жібергенше кадрды жөнелте алады. Егер жөнелтілетін кадр жоқ болса, онда ол маркерді келесіге жөнелтеді.

Маркерлі сақина (token ring) хаттамасында, станциялар деректерді жөнелтетін ретті анықтау үшін, желі топологиясы пайдаланылады. Станциялар бір-біріне жалғанып, қарапайым сақина құрайды. Сонымен, маркерді тасымалдау, *4.7-суретте* көрсетілгендей, оны бір бағыттан алып, кері бағытта жөнелту болып саналады. Кадрлар маркер бағытында тасымалданады. Олар сақина бойымен, жолдарында кездескен барлық станцияларға барып, саяхаттайды. Алайда кадр шексіз айналмас үшін (маркер тәрізді), қандай да бір станция оны сақинадан шығарып алуы керек. Бұл не бірінші жөнелтуші станция болуы керек (егер кадр толық айналымнан өтсе), не қабылдаушы станция.



4.7-сурет. Маркерлі сақина

Назар аударыңыздар, маркерді тасымалдауды жүзеге асыру үшін физикалық сақина керек емес. Станцияларды байланыстыратын арна ұзын тізбек формасында болуы мүмкін. Станциялар маркерді тізбек бойымен белгілі бір рет бойынша бұрынғыдай көршісіне жөнелтеді. Мұндай хаттама **маркерлі тізбек (token bus)** деп аталады.

Бәсекелестік кезеңі мен бір айналым кадрлар араласқан болса да, маркерлі тасымалдау хаттамасының өнімділігі биттік картаға ұқсас. Кадрды жөнелткеннен кейін әр станция, барлық N станция (өзін қоса алғанда) маркерді өз көршісіне бергенше күтуі керек. Бұдан басқа, $N-1$ станция кадр жөнелтеді (егер оларда жөнелтетін деректер болса). Айналымда барлық позициялар эквивалентті болғандықтан, қатты және әлсіз жүктелген станциялар үшін айырмашылық жоқ. Маркерлі сақинада, хаттама келесі қадамға көшкенше, әр станция маркерді тек көрші станцияға жөнелтеді. Хаттама бір қадам алға жылжу үшін маркерге барлық станцияларға кірудің қажеті жоқ.

Маркерлі сақина негізіндегі MAC хаттамалары белгілі бір кезеңдерде пайда болып отырады. Ертедегі хаттаманың бірі (Token Ring деп аталған, демек «Маркерлі сақина», және IEEE 802.5-ге стандартталған) 1980 жылдары, классикалық Ethernet баламасы ретінде танымал болған. 1990 жылдары, **FDDI (Fiber Distributed Data Interface – деректердің талшықты-оптикалы таратылған интерфейсі)** деген атпен біршама жылдам маркерлі сақина пайда болды, ол коммутацияланатын Ethernet-тен ұтылып қалды. 2000 жылы пайда болған маркерлі сақина RPR (Resilient Packet Ring – бұзылуға төзімді дестелік сақина), IEEE 802.17 стандартында анықталған, қалалық жағдайда Интернет қызметін ұсынушылар пайдаланатын, көптеген сақиналық желілер нұсқасын стандарттайды. Енді 2010 жылдан кейін не пайда болады екен.

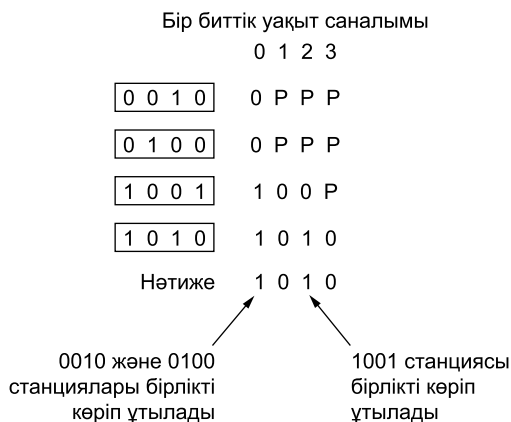
Екілік кері санау

Биттік карта базалық хаттамасының және маркерді тасымалдау хаттамаларының негізгі кемшілігі, әр станцияның бір битіне жұмсалатын үстемелі шығындар. Осының салдарынан, олар мыңдаған станциялары бар үлкен желілерге нашар масштабталады. Станцияның екілік адресін пайдаланып, арнаның тиімділігін жақсартуға болады. Арнаны алғысы келген станция өз адресін биттік жол ретінде, үлкен биттен бастап хабарлайды. Барлық станциялар адрестерінің ұзындығы бірдей деп болжаймыз. Бір мезгілде жөнелтілгендіктен, адрес биттерінің әр позициясы арна құрылғыларымен логикалық түрде қосылады (логикалық НЕМЕСЕ). Біз бұл хаттаманы **екілік кері санауы бар хаттама (binary countdown)** деп атайтын боламыз. Ол Datakit (Fraser, 1987) желісінде падаланылған. Анық емес түрде, сигналдың таралу кідірісі ескерілмейтіндей кіші деп саналады, сондықтан станциялар бекітілген нөмірлерді әп-сәтте естиді.

Қақтығыстар болдырмас үшін арбитраж ережесін пайдалану керек: адресінің үлкен битінде 0 бар станция, қосынды адресі бұл 0-дің 1-ге алмасқанын көргенде, ол келесі айналымды күтеді. Мысалы, егер 0010, 0100, 1001 және 1010 станциялары арна үшін бәсекелессе, онда алғашқы биттік кезеңде олар сәйкесінше 0, 0, 1 және 1 биттерін жөнелтеді. Бұл жағдайда, адресінің бірінші битінің қосынды 1-ге тең болады. Демек, 0010 және 0100 нөмірлі станциялар ұтылған болып есептеледі, ал 1001 және 1010 нөмірлі станциялар тартысты жалғастырады.

Қалған екі станцияның да келесі екі биті 0-ге тең – сонымен, екеуі де тартысты

жалғастырарды. Үшінші бит 1-ге тең, сондықтан 1001 нөмірлі станция ұтылады. Реттік нөмірі 1010 станция жеңімпаз болады, себебі оның адресі ең үлкені. Тартысты жеңіп шығып, ол кадр тасымалдауды бастайды. Тасымалдау аяқталғаннан кейін жаңа тартыстың жаңа айналымы басталады. Хаттама схемасы 4.8-суретте көрсетілген. Бұл тәсіл, станцияның басымдылығы реттік нөмірге тікелей байланысты деп болжайды. Кейбір жағдайда мұндай қатаң ереже оң нәтижесін береді, бірақ кейде – керісінше, теріс нәтиже береді.



4.8-сурет. Екілік кері санауы бар хаттама. Сызық үнсіздікті білдіреді

Бұл тәсіл негізінде арнаны пайдалану тиімділігі $d / (d + \log_2 N)$ құрайды. Алайда, кадрдың бірінші форматын, жөнелтуші адресі болатындай етіп тандап алуға болады. Онда, $\log_2 N$ биттер бекер жоғалмайды, 100% құрайды.

Екілік кері санау, болашақ желі құрастырушылар әлі де қайталап ашатын, қарапайым, әсем және тиімді хаттама мысалы бола алады. Екілік кері санауы бар хаттама, болашақта желілік технологиялар арасында өз орнын табады деп сенгіміз келеді.

4.2.4. Бәсекелестігі шектелген хаттамалар

Сонымен, біз кеңтаратылымды желілерде арнаға қолжеткізудің негізгі екі стратегиясын ұсындық: CSMA-дағыдай тартыс және қайшылықсыз хаттамалар. Әр стратегияны екі маңызды параметр бойынша бағалауға болады: төмен жүктелу кезіндегі кідіріс уақыты және арнаның жоғары жүктелу кезіндегі тиімділігі. Төмен жүктелу жағдайында қайшылықтар ұнамды (демек таза немесе дискретті ALOHA), себебі мұндай жүйелерде кідіріс уақыты аз (қақтығыстыр аз). Арна жүктелуі өскен сайын, қақтығыстары бар жүйелер ұнамсыз бола бастайды. Себебі, қақтығысқа байланысты үстеме шығындар өседі. Қайшылықсыз хаттамалар үшін кері жағдай әділетті. Төмен жүктелу кезінде, оларда кідіріс уақыты салыстырмалы түрде

жоғары, алайда жүктелу жоғарылаған сайын, қайшылықты хаттамалардағыдай, арнаны пайдалану тиімділігі төмендемейді, керісінше өседі (үстеме шығындар тиянақталған).

Демек, екі стратегияның артықшылықтарын біріктіріп, арнаның жүктелуіне байланысты, әртүрлі стратегияны пайдаланатын хаттама алған дұрыс болар еді. Мұндай хаттаманы біз **бәсекелестігі шектелген хаттама (limited-contention protocols)** деп атайтын боламыз. Мұндай хаттамалар бар және оларды талқылаумен біз тасушыны сұрауы бар желілерді қарастыруды аяқтаймыз.

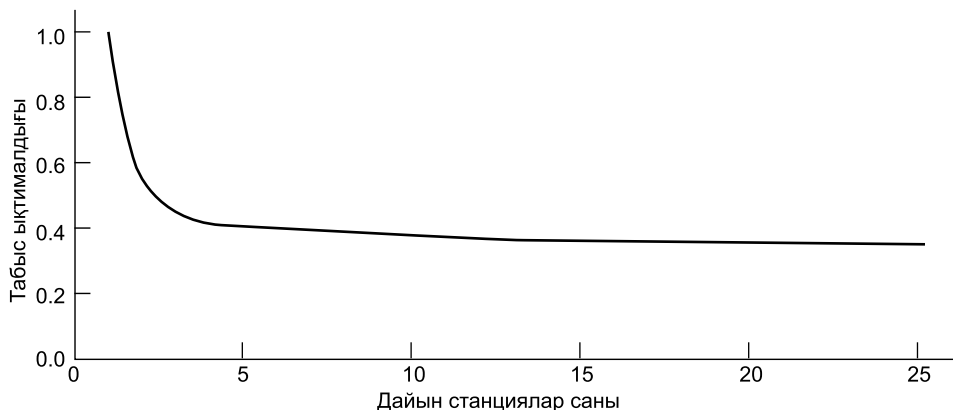
Осы уақытқа дейін біз, әр станция арнаға p ықтималдықпен қол жеткізуге тырысатын, симметриялы көпшілік қолжеткізу хаттамаларын қарастырдық. Бүкіл жүйенің тиімділігі әр станцияға түрлі ықтималдық берілетін ассиметриялы хаттаманы пайдаланғанда жақсаратыны қызық.

Ассиметриялы хаттамаларды қарастырмас бұрын, симметриялы жағдайдағы өнімділікті қарастырайық. Айталық, k станциялар арнаға қолжеткізу үшін тартысады делік. Әр станцияның әр уақыт кезеңінде жөнелту ықтималдығы p -ға тең. Қандай да бір станцияның нақты осы уақыт кезеңінде арнаға табысты қолжеткізу ықтималдығы кез келген станция деректерді p ықтималдықпен жөнелтетін ықтималдықтан құралады. Ал, қалған $k-1$ станцияның әрқайсысы $p-1$ ықтималдықпен тасымалдаудан бас тартады. Қортынды мән $kp(1-p)^{k-1}$ тең. P ықтималдығының оңтайлы мәнді табу үшін өрнекті p бойынша дифференциялайық. Нәтижені нөлге теңестіріп, алынған теңдеуді p -ға байланысты шешейік. Нәтижесінде p -ның $1/k$ тең ең жақсы мәнін аламыз. Формуладағы p -ны $1/k$ -ге алмастырып, p -ның оңтайлы мәніндегі табыс ықтималдығын аламыз:

$$P[\text{p оңтайлы ықтималдығындағы табыс}] = \left(\frac{k-1}{k}\right)^{k-1} \quad (4.4)$$

Бұл ықтималдықтың дайын станциялар санына тәуелділігі *4.9-суретте* графикалық түрде бейнелеген. Станциялар саны аз болғанда табыс ықтималдығының мәні жаман емес, алайда станциялар саны кем дегенде беске жеткенде ықтималдық $1/k$ тең асимптотикалық шамаға дейін төмендейді.

Суреттен, қандай да бір станция үшін арнаға қолжеткізу ықтималдығын, тек арна үшін бәсекелестікті төмендету арқылы жоғарылатуға болады. Мұнымен бәсекелестігі шектеулі хаттама айналысады. Олар алдымен барлық станцияларды топтарға бөледі (қиылыспау міндетті емес). 0-ші кезең үшін тартыс тек 0-ші топ мүшелеріне ғана рұқсат етіледі. Егер кімде кім жеңсе, сол арнаға қолжеткізіп, кадр жөнелтеді. Егер олардың ешқайсысы тасымалдағысы келмесе немесе қақтығыс болса, онда 1-ші топ мүшелері 1-ші интервал үшін тартысады және т.с.с. Топтарға сәйкес бөлінген кезде әр уақыт кезеңі үшін тартыс азаяды, бұл оның табысты қолданылу ықтималдығын жоғарылатады (графиктің сол жақ бөлігін қараңыз).



4.9-сурет. Симметриялы хаттамада арнаға қолжеткізу ықтималдығы

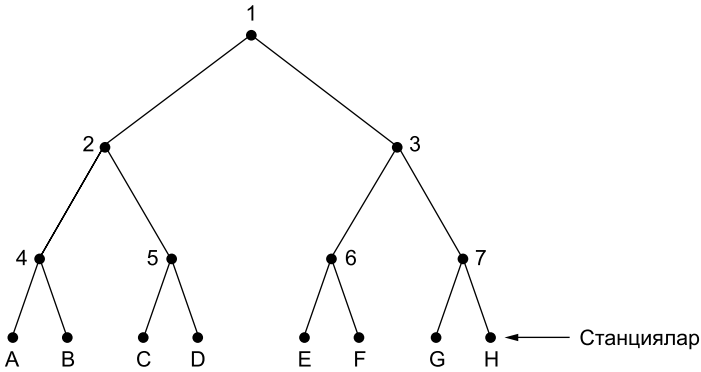
Мәселе станцияларды қалай топқа бөлуде. Жалпы жағдайды талқыламас бұрын, бірнеше жеке жағдайды қарастырайық. Бір шекті жағдайда әр топта бір станциядан болады. Бұл бөлу, толығымен қақтығысты болдырмайды, себебі әр уақыт кезеңінде тек бір ғана станция тасымалдайды. Ұқсас хаттамалар ертеректе қарастырылған (мысалы, кері екілік санау хаттамасы). Тағы бір ерекше жағдай, екі станциядан тұратын топтарға бөлу. Екі станцияның да бір уақыт кезеңінде тасымалдау ықтималдығы p^2 тең, және p -ның кіші мәнінде оны ескермеуге болады. Топтағы станциялар саны көбейген сайын, қақтығыс ықтималдығы өседі, алайда барлық оптарды нөмірлеуге қажет биттік карта ұзындығы қысқарады. Тағы бір шекті жағдай, барлық станциялар бір топқа енеді (дискретті АЛОНА жүйесі). Бізге станцияларды динамикалық түрде топтарға бөлетін механизм қажет. Арна аз жүктелгенде станциялар саны көп, аздаған топтар, ал арна жүктелуі жоғарылағанда станциялар саны аз, көп топтар (тіпті, әрқайсысы бір станциядан тұратын топтар).

Ағашпен адаптивті өту хаттамасы

Топтарға динамикалық бөлудің бір тәсілі – екінші дүниежүзілік соғыс кезінде, АҚШ армиясында солдаттарды сифилис ауруына тексеру үшін құрастырылған алгоритм (Dorfman, 1943). N солдаттың қаны тексерілген. Әр үлгінің бір бөлігі ортақ пробиркаға салынады. Осы аралас үлгі антителге тексеріледі. Егер антител табылмаса, онда осы топтағы барлық солдат сау деп саналады. Кері жағдайда, топ екіге бөлініп, әрқайсысы жеке тексеріледі. Бұл үрдіс топта бір солдат қалғанша жалғасады.

Осы алгоритмнің компьютерлік нұсқасында (Capetanakis, 1979) станциялар, 4.10-суретте көрсетілгендей, ағаш жапырағы ретінде қарастырылады. Алғашқы уақыт кезеңінде тасымалдау үшін тартысқа барлық станциялар қатысады. Егер кімде-кім тасымалдай алса, алгоритм жұмысы тоқтатылады. Егер қақтығыс орын алса, екінші кезеңге станциялардың тек жартысы, нақты ағаштың 2-ші түйініне жататын станциялар жіберіледі. Егер бір станция арнаға табысты қол жеткізсе,

онда келесі тартыс станциялардың екінші жартысы (ағаштың 3-ші түйіні) арасында жүргізіледі. Егер тағы да қақтығыс орын алса, онда келесі уақыт кезеңіндегі тартысқа, 4-ші түйінге қатысты ширек станциялар қалады.



4.10-сурет. Сегіз станциядан тұратын ағаш

Сөйтіп, егер қақтығыс 0-ші уақыт кезеңінде орын алса, онда барлық станциялар, дайын станцияны анықтау үшін бірлік тереңдікке көшіріледі. Әр бірбиттік слот ағаштың бір түйінімен сәйкестендіріледі. Егер қақтығыс орын алса, онда іздеу оң және сол еншілес түйіндер үшін жүргізіледі. Егер тасымалдауға ұмтылған станциялар саны нөлге немесе бірге тең болса, ағаштың бұл түйінінде іздеу тоқтатылады, себебі тасымалдауға дайын станциялардың барлығы анықталды.

Арна қатты жүктелген кезде, дайын станцияны бірінші түйіннен іздеу қажет емес, себебі барлық станциялардың тек біреуі ғана дайын болу мүмкіндігі аз. Осы себеппен, 2-ші және 3-ші түйінді де жіберуге болады. Жапы жағдайда, сұрауды ағаштың қай деңгейінен бастаған дұрыс? Арна неғұрлым қатты жүктелсе, дайын станцияны іздеуді соғұрлым төменнен бастау керек. Әр станция q -ді (осы кезде дайын станциялар саны) неғұрлым дәлірек бағалай алады делік, мысалы, жағындағы тафикті бағалай отырып.

4.10-суреттегі ағаш деңгейлерін нөмірлейік – 1-ші түйін 0-ші деңгей, 2-ші және 3-ші түйіндер 1-ші деңгейде және т.с.с. Әр i -ші деңгейдегі түйін барлық станциялардың 2^i бөлігін қамтитынына назар аударыңыз. Егер дайын q станциялар біркелкі таралған болса, онда олардың күтілетін саны i -ші деңгейдегі түйіннен төмен $2^{-i}q$ тең. Іздеуді бастайтын оңтайлы деңгей, уақыт кезеңінде тартылатын станциялар орташа саны 1-ге тең деңгей, демек, $2^{-i}q = 1$ тең деңгей. Бұдан шығатыны $i = \log_2 q$.

Базалық алгоритмнің көптеген жақсартылған нұсқалары құрастырылды – жеке алғанда, кейбір егжей-текжейі Бертсека (Bertsekas) және Галлагераның (Gallager) 1992 жылғы басылымында талқыланады. Мысалы, тек G және H станциялары тасымалдағысы келетін жағдайды қарастырайық. 1-ші түйінде қақтығыс орын алады, сондықтан екінші түйін тексеріледі. Ол бос болып шығады. 3-ші түйінді

тексерудің мағынасы жоқ, себебі онда қақтығыс болуы кепілденген. (бізге 1-ші түйін астында екі немесе одан да көп станция бар екені белгілі, 2-ші түйін астында ешқандай станция жоқ болғандықтан олардың барлығы 3-ші түйін астында болуы тиіс). Сондықтан 3-ші түйінді тексермей, бірден 6-шы түйінді тексеру керек. 6-шы түйін астында да ештеңе жоқ болғандықтан, 7-ші түйінді де жіберіп, G түйінін тексеру керек.

4.2.5. Сымсыз жергілікті желілер хаттамасы

Портативті компьютерлерден тұратын, радио арқылы хабарласатын жүйені сымсыз желі ретінде қарастыруға болады – біз бұны жоғарыда талқылағанбыз. Мұндай жергілікті желі – кең таратылымды арна негізіндегі желі мысалы. Олардың қасиеттері сымды жергілікті желіден ерекше, сондықтан бұнда ортаға қол жеткізуді басқарудың (MAC) арнайы хаттамалары қажет. Осы тарауда біз осы хаттамалардың бірнешеуімен танысамыз. Ары қарай біз 802.11 (WiFi) стандарты жайлы егжей-текжейлі әңгіме қозғаймыз.

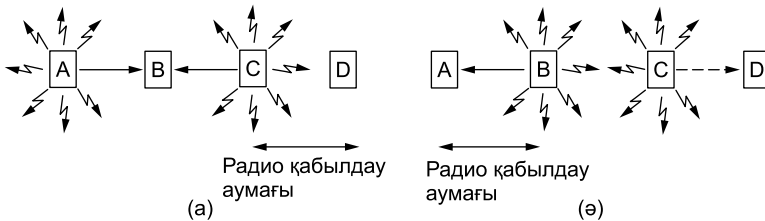
Сымсыз жергілікті желілердің таралған конфигурациясы алдын ала орнатылған қолжеткізу нүктесі бар, офис ғимаратының болуын қажет етеді. Барлық қолжеткізу нүктелері бір-бірімен қола сым немесе оптоалшық кабель арқылы байланысқан. Олар деректерді тұтынушы станцияларына жібереді. Егер қолжеткізу нүктелерінің және жылжымалы компьютердің қуаты ондаған метрден қабылдайтын диапазонға бапталған болса, онда көршілес бөлмелер бір ұя, ал ғимарат, 2-тарауда сипатталған дәстүрлі ұялы телефон жүйесіне ұқсас үлкен бір ұялық жүйеге айналады. Кәдімгі ұялы жүйеден айырмашылығы, әр ұяда орналасқан, барлық станциялармен жұмыс жасайтын, қолжеткізу нүктесі бар тек бір арна болады. Әдетте, мұндай арнаның өткізгіштік қабілеттілігі секундына бірнеше мегабиттен 600 Мбит/с-ты құрайды.

Біз жоғарыда, әдетте сымсыз жүйелердің қақтығыстарды және олар орын алатын сәтті анықтау мүмкіндігі жоқ екенін айтқанбыз. Станция қабылдайтын сигнал өте әлсіз, тіпті шашыратылатын сигналдан миллион мәрте әлсіз болуы мүмкін. Оны іздеу – бір мая пішен ішінен ине іздегенмен тең. Болған қақтығыстар мен қателерді анықтау үшін растау пайдаланылады.

Сымды жергілікті желілер мен сымсыз жергілікті желілер арасында тағы бір маңызды айырмашылық бар. Сымсыз желіде станциялардың радиотасымалдау диапазонының шектеулігінен, кейде басқа станциялардан кадрды қабылдау немесе жөнелту мүмкіндіктері жоқ. Сымды желілерде, егер бір станция кадр жөнелтсе, оны қалған барлық станциялар алады. Мұндай ерекшелік әртүрлі күрделілікке әкеледі.

Қарапайымдық үшін, әр тасымалдағыш шеңбер формасы бар аумақты толтыратын, қандай да бір тұрақталған аумақта жұмыс жасайды делік. Осы аумақтың ішінде басқа станция оны естіп, деректерін қабылдай алады. Іс жүзінде, радиосигналдың таратылуы ортаға тәуелді екенін және толтырылатын аумақ дұрыс формалы болатындығын түсінген жөн. Сигналды әлсірететін, шашытатын қабырғалар және тағы да басқа кедергілер, сигналдың әртүрлі бағытта өзгеруіне әкеледі. Алайда, шеңбер моделі біздің мақсат үшін жеткілікті.

Сымсыз жергілікті желілерде CSMA (**Carrier-Sense Multiple Access** – тасымалдаушыны сұрау арқылы көпшілік қолжеткізу) хаттамасын – эфирді тыңдау және тек ол бос кезде тасымалдауды жүргізу үшін пайдаланып көруге болады. Алайда, іс жүзінде интерференция мәні жөнелтушіде емес қабылдаушыда, сондықтан бұл хаттама сымсыз желі үшін жарамайды. Мәселені егжей-тегжейлі түсіну үшін, төрт сымсыз желі бейнеленген 4.11-суретті қарастырайық. Біздің мәселе үшін, олардың қайсы қолжеткізу нүктесі, қайсысы – тасымалды екені маңызды. Тасымалдаушылар қуаты тек көршілес станциялармен әрекеттесе алатындай, демек А В-мен, С В және D-мен, бірақ А-мен емес.



4.11-сурет. Сымсыз жергілікті желі: а – А және С, В-ға деректер жөнелткенде жасырын станциялар; б – В және С, А мен D-ға деректер жөнелткенде байқалған станциялар

Алдымен, 4.11 а-суретінде бейнеленген, А және С станциялары В станциясына деректер жөнелткенде не болатынын көрейік. Егер А станциясы деректерді жөнелтсе, ал С станциясы бірден арнаны сұрастырып жатса, онда ол тым алыс орналасқандықтан А-ны естімейді. Сондықтан ол арна бос, В станциясына деректер жөнелтуге болады деп қате шешім қабылдауы мүмкін. Егер С станциясы жөнелте бастаса, онда ол В станциясымен қақтығысып, А станциясы жөнелткен кадрды бұрмалайды. (Біз, CDMA типіндегі ешқандай схема бірнеше арнаны ұсыну үшін қолданылмайды деп ойлаймыз, сондықтан қақтығыс салдарынан сигнал бұрмаланып, екі кадр да бұзылады.) Бізге қақтығыстың осы түрін болдырмайтын MAC-хаттамасы қажет, өткізгіштік жолағын артық жұмсау деген сөз. Басты мәселе, бір станция өзінің мүмкін деген бәсекелесін естімейді, себебі ол бәсекелес тым алыс орналасқан, бұны кейде **жасырын станция мәселесі (hidden terminal problem)** деп атайды.

Енді басқа жағдайды қарастырайық: 4.11 б-суретінде көрсетілгендей, С станциясы D станциясына тасымалдай бастағысы келген кезде, В станциясы А станциясына деректер жөнелтеді. С станциясы арнаны сұрау кезінде орындалып жатқан тасымалдауды естіп, өзі D станциясына деректер жөнелте алмаймын (суретте пунктир сызық) деп қате шешім қабылдайды. Шын мәнінде мұндай тасымалдау, осы уақытта қабылдау жүрмеген, тек В станциясынан С станциясына дейінгі аралықта кедергі жасар еді. Бізге осындай кідірісті болдырмайтын MAC-хаттамасы қажет, себебі бұл өткізгіштік жолақты артық жұмсау. Бұл жағдай кейде **байқалған станция мәселесі (exposed terminal problem)** деп аталады.

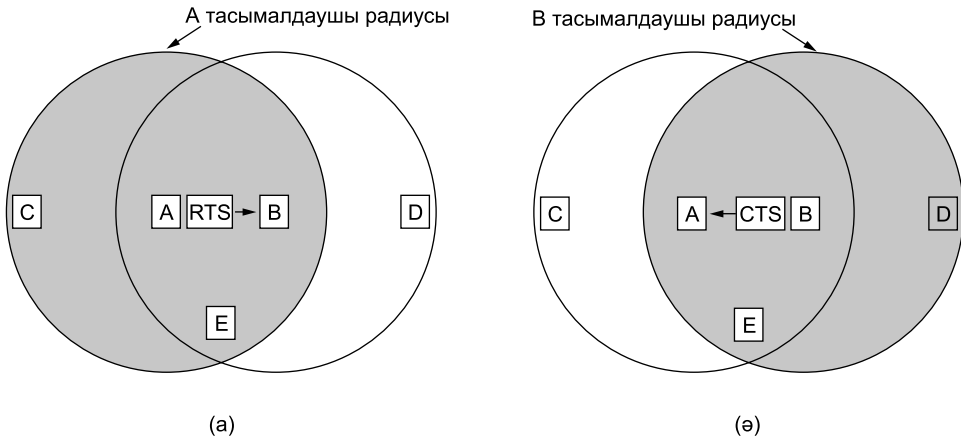
Мәселенің күрделілігі, тасымалдауды бастамас бұрын, станцияға қабылдауыш радиодиапазоны аумағында қандай да бір екпінділік бар ма, соны білу қажет. CSMA хаттамасы, тасымалдауыштарды сұрау арқылы, тек жөнелткіш аумағындағы екпінділік жайлы хабарлай алады. Тасымалдау орын алған жағдайда сигнал торап арқылы барлық станцияларға жетеді, сондықтан ерекшелік байқалмайды. Алайда, бүкіл жүйеде бір мезгілде тек бір ғана станция тасымалдау жүргізе алады. Жөнелту және қабылдау радиусы кішігірім аумақпен шектелген, радиобайланысты пайдалану жүйесінде, бір мезгілде бірнеше станция, бір-бірінен алшақ орналасқан әртүрлі станцияларға деректер жөнелте алады. Бізге, кештегі қонақтың сөйлеу үшін барлығының үнсіз қалғанын күтпейтіндей, тіптен өспелі ұяшықта бір мезгілде тасымалдау тоқтатылмауы керек. Үлкен бөлмеде бір мезгілде бірнеше әңгіме жүруі мүмкін, тек егер олардың барлығы бір әңгімелесушімен болмаса болды.

Осы мәселелердің барлығына шамасы келетін, сымсыз жергілікті желілер үшін құрастырылған, алғашқы маңызды хаттамалардың бірі – **MACA (Multiple Access with Collision Avoidance – қақтығысты болдырмайтын көпшілік қолжеткізу)** (Karn, 1990). Бұл хаттаманың негізінде жатқан идея, жөнелтуші қабылдаушыны қысқа кадр жіберуге мәжбүрлейді. Бұл қоршаған станциялар тасымалдауды естіп, үлкен ақпаратты қабылдауға қажет уақыт аралығында әрекеттерін тоқтата тұруына әкеледі. Бұл техника, тасымалдауыштарды тыңдау техникасын алмастырады.

MACA хаттамасы *4.12-суретте* бейнеленген. А станциясы В станциясына жөнелтетін жағдайды қарастырайық. А станциясы, *4.12 а-суретінде* көрсетілгендей, В-ға **RTS (Request To Send – тасымалдауға сұраныс)** кадрын жөнелтуден бастайды. Бұл қысқа (30 байт) кадрда өзінен кейін келетін деректер кадрының ұзындығы көрсетілген. Бұған В станциясы, *4.12 ә-суретінде* көрсетілгендей, **CTS (Clear To Send – тасымалдауға рұқсат)** кадрымен жауап береді. CTS кадрында да ақпараттық кадр ұзындығы көрсетіледі (RTS кадрынан көшіріп алынған). CTS кадры қабылдап, А станциясы тасымалдауды бастайды.

Енді, осы кадрлардың бірінің тасымалдануын естіген станциялардың қалай әрекет ететінін көрейік. RTS кадрын естіген кез келген станция А-ға жақын орналасқан, сондықтан А станциясы CTS кадрын қабылдағанша үнсіз қалуы керек. CTS кадрын еститін станциялар В станциясына жақын орналасқан, демек, олар В станциясы деректер кадрын қабылдағанша тасымалдаудан бас тартулары керек. Деректер ұзындығын олар CTS кадрын біледі.

4.12-суретте С станциясы А станциясы аумағында орналасқан, бірақ В станциясы аумағына кірмейді. Сондықтан ол А станциясы жөнелткен RTS кадрын естиді, ал В станциясының жауап берген CTS кадрын естімейді. Ол CTS кадрымен интерференцияланбайтындықтан, ақпараттық кадр тасымалданып жатқан кезде, тасымалдаудан бас тартпайды. Керісінше, D станциясы В-ға жақын, А станциясынан алшақ орналасқан. Ол RTS кадрын естімейді, бірақ CTS кадрын естиді. Бұл, оның деректер кадрын қабылдамақ болған станция маңында орналасқан, дегенді білдіреді. Сондықтан кадр толығымен жөнелтілгенше, оған тасымалдауға болмайды. Е станциясы екі басқарушы кадрдың екеуін де естиді, сондықтан D станциясы тәрізді, ақпараттық кадрды тасымалдау аяқталғанша үнсіздік сақтауы тиіс.



4.12-сурет. MACA хаттамасы: а – А станциясы В станциясына RTS қадырын жөнелтеді; ә – В станциясы А-ға CTS қадырымен жауап береді

Барлық сақтандырушы шараларға қарамастан, қақтығыс орын алуы мүмкін. Мысалы, В және С станциялары бір мезетте, А станциясына RTS қадырын жөнелтулері мүмкін. Олар өзара қақтығысып, кадр қабылданбайды. Бұл жағдайда тасымалдауыштар, орнатылған мерзім аралығында CTS қадырын естімегендіктен, кездейсоқ уақытты күтіп, ұмтылысын қайталайды.

4.3. ETHERNET ЖЕЛІСІ

Сонымен, біз арнаны тарату хаттамаларына байланысты жалпы сұрақтарды қарастырып біттік. Нақты қосымшаларды қарастыратын уақыт келді. Дербес (PAN), жергілікті (LAN) және жалпы қалалық (MAN) желілер технологиясының көбі IEEE 802 стандарттар сериясымен стандартталған. Кейбір стандарттар жұмыс істеуде, кейбірі – жоқ (1.4-кестені қараңыз). Реинкарнацияға сенетін адамдар, әлсіз технологияларды браққа шығарып тастайтын, IEEE стандарттар Бірлестігінің бір мүшесі Чарльз Дарвин деп санайды. Шынында да ең мықтылары аман қалды. Ең маңызды стандарттар 802.3 (Ethernet) және 802.11 (сымсыз ЖЕЖ). Bluetooth (дербес сымсыз желілер) қазіргі кезде кеңінен таралған, бірақ оларды 802.15-тен басқа стандарттар сипаттайды. 802.16 (сымсыз аймақтық желілер) стандарты жайлы айтарлықтай маңызды ешнәрсе жоқ. Шамасы оларға осы кітаптың 6 басылымында бір бөлімді арнаймыз.

Біз нақты желілерді қарастыруды Ethernet бастаймыз. Әлемде кеңінен таралған компьютерлік желілер типі. Ethernet екі түрі бар: осы тарауда қарастырылатын, техника көмегімен көпшілік қолжеткізу мәселесін шешетін, классикалық Ethernet (classic Ethernet); және компьютерлерді байланыстыру үшін коммутатор деген құрылғыны пайдаланатын, коммутациялық **Ethernet (switched Ethernet)**. Екі атта

да Ethernet деген сөз болғанымен, бұл желілер арасында көптеген айырмашылықтар бар екенін түсіну керек. Классикалық Ethernet – бірегей ойдың жүзеге асырылуы, бұл желілер 3-тен 10 Мбит/с аралығындағы жылдамдықпен жұмыс жасады. Коммутациялық Ethernet – бұл біршама жоғары деңгей, бұл желілер 100, 1000 және 10 000 Мбит/с жылдамдықпен жұмыс жасайды және Fast Ethernet («жылдам Ethernet»), Gigabit Ethernet («гигабит Ethernet») және 10-Gigabit Ethernet («10-гигабит Ethernet») деп аттары бар. Бүгінде іс жүзінде тек коммутациялық Ethernet.

Біз Ethernet-тің тарихи формаларын, желінің дамуын көрсетіп хронологиялық ретпен талқылаймыз. Ethernet және IEEE 802.3 екеуі бір болғандықтан (біз қысқаша талқылайтын екі кішігірім бөлігінен басқасы), көбіне екі атау да пайдаланылады. Біз кейде «Ethernet», кейде «IEEE 802.3» дейтін боламыз. Ethernet-ке қатысты қосымша ақпаратты (Spurgeon, 2000) кітабынан табуға болады.

4.3.1. Классикалық Ethernet желісінің физикалық деңгейі

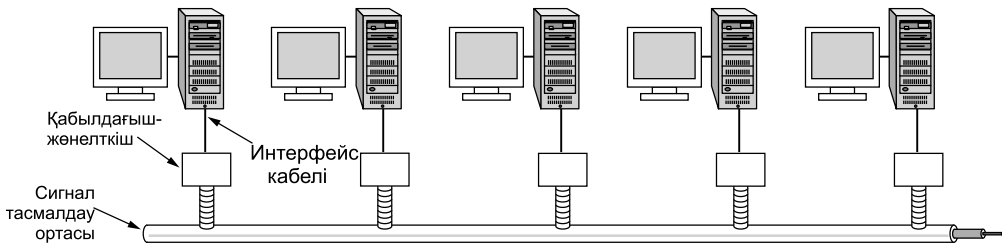
Ethernet тарихы шамамен, АЛОНА уақытынан, студент Боб Меткальф Мас-сачусетск технологиялық университетінде магистр дәрежесін алып, сонан кейін Гарвардта докторлық жұмысын қорғау үшін мекен жайын ауыстырған кезден басталады. Оқып жүріп ол Абрамсон жұмысымен танысады. Жұмыс оны қатты қызықтырады, сол себепті Гарвардты аяқтағаннан кейін Абрамсонмен жұмыс жасап, жазды Гавайяда өткізіп, тек содан кейін ғана Херох зерттеу орталығына ауысамын деп шешеді. Зерттеу орталығына келгенде ол кейіннен дербес компьютер болатын затты көреді. Алайда, машиналар оқшауланған еді. Өзінің Абрамсон жұмысын білетіндігін пайдаланып, ол әріптесі Дэвид Богтсоммен бірге, алғашқы жергілікті желіні құрастырып, іске қосады (Metcalf, Boggs, 1976). Желі үшін қалың, ұзын коаксиалды кабель пайдаланылды, ал жылдамдық 3 Мбит/с құрады.

Олар жүйені бір кезде электромагниттік сәуле таралады деп саналған *люминофорлық эфир* құрметіне **Ethernet** деп атады. (XIX ғасырда британ физигі Джеймс Клерк Максвелл, электромагниттік сәулеленуді толқын теңдеуімен өрнектеуге болатындығын тапқан. Ғалымдар, бұл кеңістік сәулелену таралатын, қандай да бір эфирлік ортамен толтырылуы керек деп шамалаған. Тек 1887 жылы өткізілген, Майкельсон-Морлидің атақты тәжірибесінен кейін физиктер электромагниттік сәулелену вакуумда таралуға қабілетті екенін түсінді).

Херох Ethernet жүйесі табысты болғаны соншалық, 1978 жылы DEC Intel және Херох 10-мегабиттік Ethernet стандартын құрастырды, ол **DIX стандарты (DIX standard)** деп аталды. 1983 жылы, біраз өзгертулермен DIX стандарты IEEE 802.3 стандартына айналды. Херох үшін өкінішке орай, бұл компанияның сол сәтке дейін, нарыққа табыспен шығара алмаған, маңызды өнертабысының (дербес компьютер тәрізді) ұзақ тарихы бар еді (бұл жайлы “Fumbling the Future”, Smith, Alexander, 1988 кітабынан оқыңыз). Херох-тың Ethernet-ке деген ешқандай қызығушылығы жоқ және бұл компания тек стандарттауда ғана көмек көрсете алатынын түсінген кезде, Меткальф өзінің жеке, 3Com компаниясын ашып, дербес компьютерлер үшін Ethernet адаптерлерін сата бастады. Миллион құрылғы сатылды.

Классикалық Ethernet – бұл компьютер қосылған ғимаратты ораған ұзын бір кабель. Мұндай архитектура 4.13-суретте көрсетілген. Ел арасында қалың Ethernet (**thick Ethernet**) деп аталатын алғашқы нұсқа, әр 2,5 метр сайын маркировкасы бар – осы жерде компьютер қосылатын, сары бақша шлангасын еске салатын. (802.3 стандарты бойынша кабельдің сары болуы шарт емес болатын, бірақ бұл солай тұспалданатын.) Оның орнына жіңішке **Ethernet (thin Ethernet)** келді; бұл кабельдер әлдеқайда иілгіш және біріктірулер стандартты BNC ажыратқыштары арқылы орындалды. Жіңішке Ethernet әлдеқайда арзан және орнатылуы қарапайым болды, бірақ сегмент ұзындығы 185 метрден жоғары аспады (500 метр қалың Ethernet орнына), және әр сегмент тек 30 машинаны қолдады (100 орнына).

Ethernet нұсқаларының барлығында сегменттегі кабель ұзындығы бойынша шектеулер бар, демек күшейткішсіз пайдаланылатын кабель бөлігі. Үлкен көлемдегі желі құрастыру үшін бірнеше кабель қайталауыш (repeaters) арқылы біріктіріледі. Қайталауыш – бұл физикалық деңгей құрылғысы. Ол сигналды қабылдап, күшейтіп, екі бағытта да жөнелтеді. Программалық жабықтау тұрғысынан, қайталауыштар арқылы жалғанған кабельдер, тұтас кабельден айырмашылығы жоқ (айырмашылық тек, қайталауышпен байланысты уақыт кідірісінде).



4.13-сурет. Классикалық Ethernet желісінің құрылымы

Ақпарат кабель бойымен манчестерлік кодты пайдалану арқылы жөнелтіледі. Ethernet желісі сегменттер саны үлкен кабельден және қайталауыштардан тұруы мүмкін, алайда қабылдағыш-жөнелткіш 2,5 метр артық емес арақашықтықта орналасуы және олардың арасындағы қайталауыштар саны төрттен аспауы керек. Мұндай шектеудің себебі, біз ары қарай қарастыратын MAC хаттамасында жатыр.

4.3.2. Классикалық Ethernet-гі ортаға қол жеткізуді басқару ішкі деңгейінің хаттамасы

Деректерді жөнелту үшін пайдаланылатын кадр форматы 4.14-суретте көрсетілген. Алдымен ұзындығы 8 байт, 10101010 тізбегінен тұратын (тек, соңғы екі биті 11 тең болатын, соңғы байттан басқасы), *Preamble* (преамбула, тақырып) өрісі жүреді. 802.3 стандартындағы соңғы байт бөлгіш *Start of Frame* (Кадр

басы) деп аталады. Биттердің осындай тізбегін манчестерлік кодтау нәтижесінде, қабылдаушыға өз сағатын жөнелтуші сағатымен синхронизациялауға мүмкіндік беретін, ұзықтығы 6,4 мкс және жиілігі 10 МГц меандр береді. Бірге тең екі соңғы биттер, қабылдаушыға қазір жаңа кадрдың басталатындығы жайлы хабарлайды.

Бұдан кейін екі адрес орналасқан: қабылдаушы және жөнелтуші. Әрқайсы 6 байт орын алады. Жөнелтілетін қабылдаушы адресінің бірінші битінде, әдеттегі адрестер үшін 0 және қабылдаушылар тобы үшін 1 жазылады. Топтық адрестер бірнеше станцияларға бір жөнелтушіден ақпарат қабылдауға мүмкіндік береді. Топтық адресатқа жіберілетін кадр, топқа кіретін барлық станциялармен қабылдануы мүмкін. Бұндай механизм Топтық жіберу (multicasting) деп аталады. Егер адрес тек бірліктерден тұрса, онда кадрды желінің барлық станциялары түгелдей қабылдай алады. Осы тәсілмен **кең таратылу (broadcasting)** іске асырылады. Топтық жіберу әлдеқайда талғампаз, бірақ топтарды басқарғанда біраз күш салуды талап етеді. Кеңтаратылу – бұл әлдеқайда дөрекі технология, бірақ топтарды баптауды қажет етпейді.

Байттар	8	6	6	2	0-1500	0-46	4	
(а)	Преамбула	Тағайындалған адрес	Жөнелтуші адресі	Типі	Деректер	Толтырушы	Бақылау қосындысы	
(ә)	Преамбула	SO F	Тағайындалған адрес	Жөнелтуші адресі	Ұзындық	Деректер	Толтырушы	Бақылау қосындысы

4.14-сурет. Кадрлар форматы: а – DIX Ethernet; ә – IEEE 802.3

Станциялардың бастапқы адрестерінің бір қызық ерекшелігі, ауқымды бірегейлік. Олар орталықтандырылып, IEEE-ден басталады және бұл бір ауқымды адрестің, әлемнің еш жерінде, екі станцияда бірдей қолданылмайтынына кепілдік береді. Негізгі ой, әр станция 48-биттік нөмірмен бірегей сәйкестендіріледі. Ол үшін адрес өрісінің алғашқы 3 байты **OUI (Organizationally Unique Identifier, ұйымдастырушы бірегей идентификатор)**. Бұл өрістің мәнін IEEE тағайындайды және бір мағыналы өндірушіні анықтайды. Өндірушілер адресіне 2^{24} блоктан бөлінеді. Өндіруші адресінің соңғы 3 байтын тағайындап, барлық адресі желілік картада, сатылымға түспес бұрын программалайды.

Келесі өріс *Type* немесе *Length*, кадрдың Ethernet немесе IEEE 802.3 жататынына байланысты. Ethernet желісінде *Type* өрісі қабылдаушыға кадрмен не жасау керек екенін көрсетеді. Бір машинада, бір мезгілде желілік деңгейдің бірнеше хаттамасы жұмыс жасауы мүмкін, сондықтан Ethernet желісінің кадры келген кезде, операциялық жүйе оны қандай хаттамаға беретінін түсіну керек. *Type* өрісі, кадр өзіне алатын үрдісті анықтайды. Мысалы, 0x0800 типті код, деректерде IPv4 пакеті бар екенін білдіреді.

IEEE 802.3-ті құрастырушылар өздерінің шексіз даналығымен, бұл өрісте кадр ұзындығы берілу керек деп шешті. Ұзындықты анықтау үшін, деректер ішіне қарау

керек болғандықтан, біз желілік деңгейді пайдалану ережесінің бұзылғандығын байқаймыз. Әрине, бұл қабылдаушы, енген кадрмен не істеу керек екендігін анықтай алмады дегенді білдіреді. Бұл мәселені, деректерге **LLC (Logical Link Control, логикалық арнаны басқару)** хаттамасы үшін, тағы бір тақырып қосумен шешті. Ол 8 байт орын алады және хаттама типі жайлы 2 байт ақпарат береді.

Өкінішке орай, 802.3 стандартының жариялану уақытына, DIX Ethernet үшін көптеген құрылғылар мен программалық жабдықтамалар қолданылды, тек аз ғана өндірушілер және тұтынушылар *Type* және *Length* өрістарінің қайта анықтауға құлшыныс танытты. 1997 жылы IEEE жеңілісін мойындап, екі тәсілмен де келісті. Қуанышқа орай, *Type* өрісінің мәндері 1997 жылға дейін пайдаланылды және 1500 (сол кезде бұл мәннен үлкен мән ретінде тағайындалған) асты. Енді ереже мынадай: кез келген 0x600 (1536) аспайтын мәнді *Length* ретінде интерпретациялауға болады, ал кез келген 0x600 асатын санды – *Type* ретінде. Енді IEEE қанағаттанды, барлығы оның стандартын пайдаланады, программистер LLC жайлы ойланбай және стандарттың бұзылғандығы жайлы өздерін кінәламай, осыған дейін жасаған жұмысын жалғастыра алады.

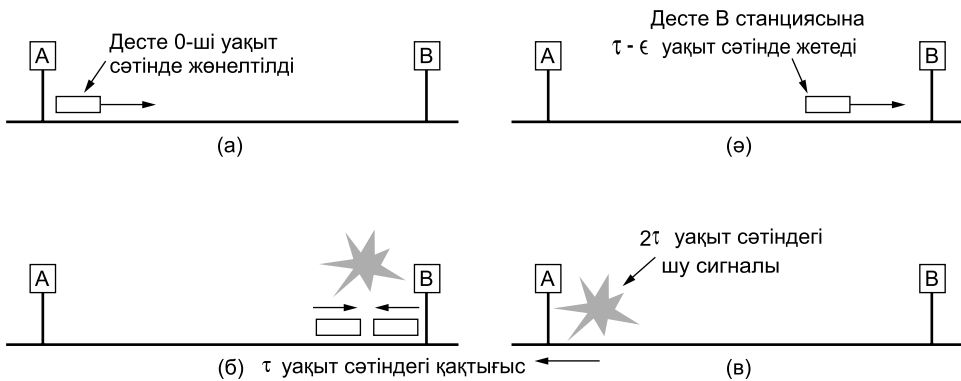
Соңында, *Type* өрісінен кейін деректер өрісі орналасады. Олардың мөлшері 1500 байтпен шектелген. Мұндай шектеу, Ethernet стандарты ресми бекітілген кезде еркін алынған болатын. Таңдау кезінде, қабылдаушы-жөнелтушіге кадрды толығымен сақтау үшін өте көп оперативті жады керек болады деген себеп айтылды. Алыс, 1978 жылы жады өте қымбат болатын. Сәйкесінше, деректер өрісінің жоғарғы шекарасын үлкейту, үлкен жады орнатуға әкелер еді, ол өз кезегінде бүкіл қабылдаушы-жөнелткіштің қымбаттауына әкеледі.

Деректер өрісінің жоғарғы шекарасынан басқа, төменгі шекара да маңызды. Мөлшері 0 байт ақпараттан тұратын деректер өрісі белгілі бір қиындыққа әкеледі. Қабылдаушы-жөнелткіш қақтығысты анықтаған кезде ағымдағы кадрды кеседі, бұл кадрдың жеке бөліктері кабель бойымен адасып жүреді дегенді білдіреді. Қажет кадрларды қоқыстан ажырату үшін, Ethernet желісіне мөлшері 64 байттан (қабылдаушы адресінен бақылау қосындысын қоса алғанда) кем емес кадр қажет. Егер кадрдағы деректер 64 байттан кем болса, оған арнайы *Pad* (толтырғыш) өрісін қосады. Оның көмегімен кадр мөлшері қажет ең кіші мөлшерге дейін жеткізіледі.

Кадрдың төменгі мөлшеріне шек қоюдың басқа (әлдеқайда маңызды) мақсаты, станциялар қысқа кадрды, оның бірінші байты кабельдің ең алыс басына жеткенше тасымалдап үлгеретін жағдайды болдырмау. Қысқа кадр кабель соңында ол басқа кадрмен соқтығысып қалуы мүмкін. Бұл жағдай *4.15-суретте* көрсетілген. Уақыттың 0-ші сәтінде А станциясы, желінің бір басында кадр жөнелтеді. Кадрдың кабельмен уақыты t -ға тең болсын. Кадр кабельдің соңына жетерден бір сәт бұрын (демек уақыттың $t-\epsilon$ сәтінде), ең қашық орналасқан В станциясы тасымалдауды бастайды. В станциясы, өзі жұмсағаннан үлкен қуат алғанын байқағанда, қақтығыс болғанын түсінеді. Сонан кейін ол тасымалдауды доғарып, басқа станцияларға ескерту ретінде, 48-биттік шу сигналын жөнелтеді. Шамамен, $2t$ уақыт сәтінде, жөнелтуші шу сигналын байқап, тасымалдауды доғарады. Сонан кейін кездейсоқ уақыт күтіп, тасымалдауды қайталайды.

Егер кадр мөлшері тым кіші болса, жөнелтуші тасымалдауды шу сигналын алғанша аяқтайды. Бұл жағдайда, ол өз кадрымен немесе басқамен қақтығыс болғанын түсіне алмайды, демек, оның кадры табыспен қабылданды деп шешеді. Бұндай жағдайды болдырмас үшін барлық кадрлардың ұзындығы, тасымалдау уақыты 2τ -дан үлкен болатындай болуы тиіс. Тасымалдау жылдамдығы 10 Мбит/с жергілікті желі үшін, кабельдің ең үлкен ұзындығы 2500 м және төрт қайталауыш (802.3 спецификасының талабы) болғанда, бір кадрды тасымалдаудың ең кіші уақыты, ең нашар жағдайда шамамен 50 мкс-ті құрауы керек.

Демек, кадр ұзындығы кем дегенде, осы ең кіші мәнді тасымалдайтындай болуы керек. Жылдамдық 10 Мбит/с болғанда, бір байтты тасымалдау үшін 100нс жұмсалады, яғни кадрдың ең кіші мөлшері 500 битке тең болуы керек. Сенімділік тұрғысынан бұл сан 512 бит немесе 64 байтқа дейін үлкейтілді.



4.15-сурет. Қақтығысты анықтау 2τ уақыт алуы мүмкін

Ethernet стандарты кадрының соңғы өрісі – *Checksum*, бақылау қосындысы жазылады. Іс жүзінде, біз жоғарыда талқылаған 32-биттік CRC коды және типі де сондай. Ол да сол, PPP, ADSL және тағы басқа типтегі арналар пайдаланатын, тудырушы көпмүше көмегімен анықталған. Бұл CRC қателіктерді анықтауға көмектеседі: ол кадр биттерінің дұрыс қабылданғанын тексереді. Қате түзелмейді, егер қате анықталса, кадр жойылады.

CSMA/CD ұстамдықтың экспоненциалды екілік алгоритмі

Классикалық Ethernet-те, біз жоғарыда қарастырған CSMA/CD алгоритмі 1-ші табандылықпен қолданылады. Бұл станциялар тасымалдау ортасын, жөнелтетін кадр пайда болған кезде тындайды және деректерді тасымалдау ортасы босағанда жібереді дегенді білдіреді. Кадрды жөнелте отырып, ол арнада қақтығыс болған, болмағанын тексереді. Егер қақтығыс болса, қақтығыс бар екені жайлы қысқа сигнал жіберіп, тасымалдауды тоқтатады. Деректерді жөнелтуді кездейсоқ уақыт аралығынан кейін қайта бастайды.

Жана әдіс болғандықтан, күту кезеңінің кездейсоқ ұзындығы қалай анықталатынын қарастырайық. *4.5-суреттегі* модель қалады. Қақтығыс болғаннан кейін, уақыт ұзақтығы сигналдың айналма үндеудің ең үлкен уақытына тең, дискретті $2t$ кезеңдерге бөлінеді (яғни, оның кабель бойымен тура және кері бағытта өтуі). Желінің ең үлкен мөлшерінде, Ethernet қажеттілігін өтеу үшін, бір кезең 512 биттік кезеңді немесе 51,2 мкс құрауы керек.

Бірінші қақтығыстан кейін, әр станция, қайта тасымалдамас бұрын, 0-ші немесе 1-ші кезеңді күтеді. Егер екі станция қақтығысып, жалған кездейсоқ санды таңдаса, онда олар тағы да қақтығысады. Екінші қақтығыстан кейін, әр станция кездейсоқ түрде 0, 1, 2 немесе 3-ші кезеңді таңдап, қайта күтеді. Үшінші қақтығыс кезінде (екі қақтығыстан кейін мұндай оқиғаның болу ықтималдығы $\frac{1}{4}$ тең) кезеңдер 0-ден $2^3 - 1$ диапазон аралығында таңдалады.

Жалпы жағдайда i қақтығыстан кейін кездейсоқ нөмір 0-ден $2^i - 1$ диапазон аралығында таңдалады және осы кезеңдер санын станциялар жібереді. Алайда, 10 қақтығыс қатарынан болғаннан кейін, кездейсоқ кезең 1023 белгісінде бекітіледі. Қатарынан 16 қақтығыс болғаннан кейін, контроллер өз қателігін мойындап, компьютерге қатені қайтарады. Ары қарай қалпына келтіруді жоғары деңгейлер орындайды.

Бұл, **ұстамдылықтың экспоненциалды екілік алгоритмі (binary exponential backoff)** деп аталатын алгоритм, тасымалдауға ұмтылған станцияларды динамикалық есепке алу үшін таңдалған болатын. Егер кезеңді кездейсоқ таңдау аралығын 1023-ке теңестірсек, онда қайта қақтығысу ықтималдығы ескермеуге боларлықтай аз болады, алайда күту уақыты жүздеген тактыны құрайды, нәтижесінде орташа кідіріс уақыты тым үлкен болады. Екінші жағынан, егер әр станция күту уақытын тек екі нұсқадан, 0 және 1, таңдайтын болса, онда қақтығыс кезінде жүздеген станциялар, олардың 99-ы 1-шіні, ал біреуі 0-ші таңдамайынша, қайта-қайта қақтығыса береді. Бұндай оқиғаны жылдап күтуге болады. Қақтығыс қайталанған сайын кездейсоқ аралықты экспоненциалды үлкейте отырып, алгоритм аз станциялар қақтығысқанда кідіріс уақытын азайтып, көп станциялар қақтығысқанда, шиеленіс орынды уақыт аралығында шешілетініне кепілдік береді.

Егер қақтығыс болмаса, жөнелтуші кадр табыспен жеткізілді деп шешеді. Сонымен, CSMA/CD-де де, Ethernet-те де растау қабылданбайды. Бұл нұсқа қателіктер саны төмен, кабельдік және оптоалшықты арналарға жарайды. Кез келген қателік CRC кодының көмегімен анықталып, жоғары деңгеймен түзетіледі. Біз кейіннен көретіндей, шуы көп сымды арналарда растау пайдаланылады.

4.3.3. Ethernet желісінің өнімділігі

Классикалық Ethernet желісінің үлкен, тұрақты жүкшелу кезіндегі өнімділігін бағалайық. Демек, k станциялар үнемі жөнелтуге дайын кезде. Ұстамдылықтың экспоненциалды екілік алгоритмді қатаң сараптау өте қиын. Оның орнына біз, Меткальф (Metcalfe) және Боггса (Boggs) (1976) пікіріне сүйеніп, әр уақыт

кезеңінде қайта тасымалдау ықтималдығы тұрақты деп болжаймыз. Егер әр станция, бір уақыт аралығында p ықтималдықпен тасымалдайтын болса, онда қандай да бір станцияның арнаға қолжеткізу ықтималдығы, төмендегі 4.5 формулаға тең.

$$A = kp(1-p)^{k-1} \quad (4.5)$$

$p = k/1$ болғанда A ең үлкен мәнге ие болады. k шексіздікке ұмтылғанда, A $1/e$ ұмтылады. Арна үшін тартыс уақыты тура j аралықтан тұру ықтималдығы $A(1-A)^{j-1}$ тең, демек, арна үшін тартыс аралығының орташа саны

$$\sum_{j=0}^{\infty} jA(1-A)^{j-1} = \frac{1}{A}.$$

Әр уақыт аралығының ұзақтығы 2τ болғандықтан, тартыс кезеңнің орташа ұзақтығы $w = 2\tau / A$ құрайды. p ықтималдығының оңтайлы мәнінде тартыс кезеңі аралығының саны ешуақытта e аспайды, сөйтіп, тартыс кезеңінің орташы ұзақтығы $2\tau e \approx 5,4\tau$ тең болады.

Егер, кадр тасымалдаудың орташа уақыты P с болса, онда арнаның қатты жүктелгендегі тиімділігі:

$$\text{Канал тиімділігі} = \frac{P}{P + 2\pi / A} \quad (4.6)$$

Біз бұл формуладан, кабельдің ұзындығы тиімділікке әсер ететінін көреміз. Кабель неғұрлым ұзын болса, арна үшін тартыс аралығы соғұрлым ұзақ болады. Міне, осы пікірден, Ethernet-тің неліктен станциялар арасындағы ең үлкен арақашықтыққа шектеу қоятынын түсінікті болады.

(4.6) өрнегін, F – кадр ұзындығы, B – желінің өткізгіштік мүмкіндігі, L – кабель ұзындығы және c оңтайлы жағдайдағы сигналдың таралу жылдамдығы, e – кадр үшін қақтығыс аралығы, терминдерін қосып, қайта жазған дұрыс. $P=F/B$ болғанда (4.6) өрнегі төмендегідей жазылады:

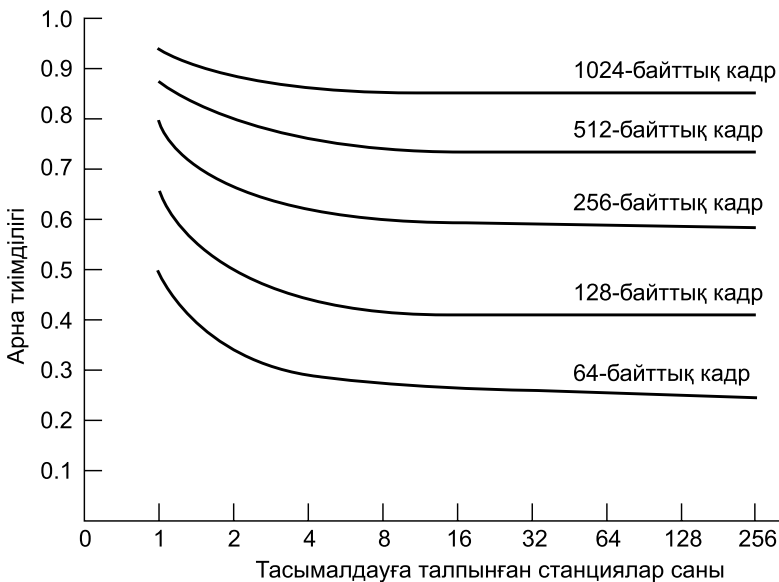
$$\text{Канал тиімділігі} = \frac{1}{1 + 2BLE / cF} \quad (4.7)$$

Егер екінші қосынды бөліндісі үлкен болса, тиімділік төмен болады. Жеке жағдайда желінің өткізгіштік қабілеттілігін немесе мөлшерін үлкейту (BL көбейтіндісі), берілген кадр мөлшерінде тиімділікті төмендетеді. Өкінішке орай, желілік құрылғылар аумағындағы зеттеулер нақты осы көбейтіндіні үлкейтуге бағытталғын. Тұтынушылар үлкен арақашықтықта, жоғары жылдамдықты қалайды (мысалы, опыталшықты аймақтық желілер қамтамасыз етеді), демек,

осы қосымшалар үшін Ethernet стандарты жақсы шешім емес. Ethernet-тің басқа іске асырылуын біз келесі бөлімнен көреміз.

$2\tau=51,2$ мкс және деректер тасымалдау жылдамдығы 10 Мбит/с болғандағы, арна тиімділігінің дайын станциялар санына тәуелділігі *4.16-суретте* көрсетілген. Есептеу үшін (4.7) өрнегі қолданылады. 64-байттық уақыт аралығында 64-байттық кадрлар тиімсіз болып шығады, бұл ғажайып емес. Екінші жағынан, егер ұзындығы 1024 байт кадрды пайдалансақ, онда e -нің апсимптотикалық мәнінде арна үшін тартыс кезеңі 64-байттық аралыққа тең, демек 174 байт, арна тиімділігі 85% құрайды. Бұл дискретті арақашықтығы бар АЛОНА жүйесіндегі 37% қарағанда, әлдеқайда жақсы нәтиже.

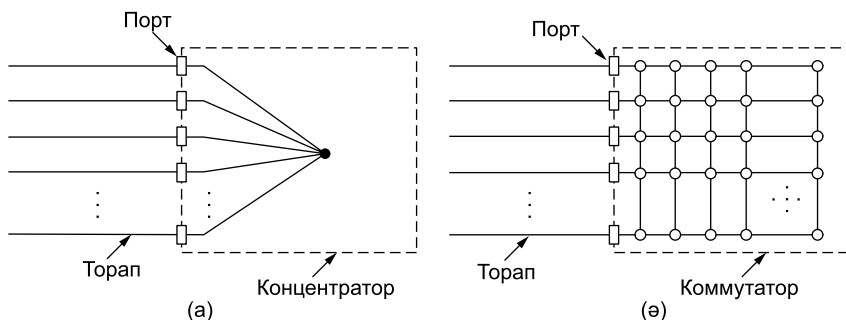
Ethernet желілерінің (басқа да желілердің) тиімділігін теориялық тұрғыдан сараптауға көптеген жұмыстар арналған. Нәтижелердің көбіне, екі себеп бойынша шүбәмен қарау керек. Біріншіден, іс жүзінде барлық теориялық зерттеулерде, трафик пуассондық талалуға бағынады деп алынған. Зерттеуді нақты деректер ағынымен қарағанда, желілік трафик Пуассон бойынша өте сирек таралған, жиірек көптеген қарбаластар жиыны қосылған (Paxson and Floyd, 1994; Leland және басқалар, 1994). Бұл кезеңді үлкейткенде орталандырылған трафик бәсеңдемейді. Күдікті модельдерді қолданғаннан басқа, бұл жұмыстардың барлығы «қызықты» жағдайларға назар аударады, демек, арна үнемі қатты жүктелген деп санайды. Боггс және басқалар (1998 жыл) тәжірибеде Ethernet-тің нақты жағдайда, тіпті жүктелі салыстырмалы түрде жоғары болса да, жақсы жұмыс жасайтынын дәлелдеді.



4.16-сурет. 802.3 стандарты желілерінің, 512-биттік уақыт аралығында, 10 Мбит/с жылдамдықтағы тиімділігі

4.3.4. Коммутацияланатын Ethernet желілері

Ethernet тез арада, классикалық нұсқада пайдаланылған бір ұзын кабельді құрылымнан бас тарта бастады. Кабельдің үзілген жерін және бос байланыстарды іздеу қосылудың жаңа тәсіліне әкелді. Бұл тәсілде, әр станция орталық **концентраторға (hub)** жеке кабель арқылы қосылады. Концентратор барлық сымдарды, олар өзара дәнекерленгендей электр схемасына қосады. Мұндай конфигурация 4.17 а-суретінде көрсетілген.



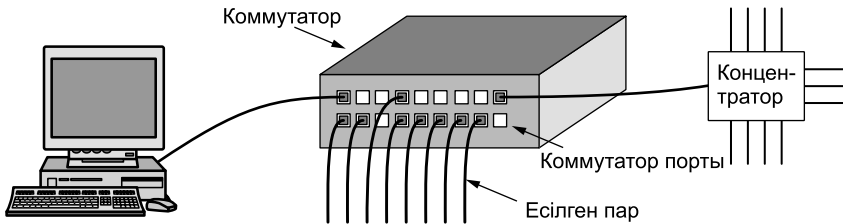
4.17-сурет. Ethernet конфигурациясы: а – концентратор; ә – коммутатор

Байланыстыру үшін көптеген офистық ғимараттар онсыз да кабельмен қамтылған, ал бос есілген парлар жеткілікті болғандықтан, телефон компаниясының ұсынысы бойынша есілген пар пайдаланылды. Қолданудың мұндай нұсқасы өте тиімді болды, бірақ ол компьютер мен концентратор арасындағы ең үлкен ұзындықты 100 м (немесе 200 м 5-ші категориялы есілген пар болған кезде) дейін шектеді. Бұл конфигурацияда станцияларды қосу және алып тастау жеңіл болды, сонымен бірге кабель үзілісін табу да қиын емес еді. Қолданыстағы кабельдік ажыратылымдарды пайдалану артықшылығына және қызмет көрсету қарапайымдылығына байланысты есілген пардағы концентраторлар, тез арада Ethernet желісін іске қосу түрінің алды болды.

Алайда, концентраторлар логикалық түрде классикалық Ethernet желісінің бір ұзын кабельіне эквивалентті болғандықтан, сыйымдылықты өсірмейді. Станцияны қосқан кезде, олардың әрқайсының арнаның ортақ тұрақты сыйымдылық бөлігі азаяды. Ең соңында, жергілікті желі қанығады. Бұл жағдайдағы шешімнің бірі, деректер тасымалдау жылдамдығын өсіру – мысалы, 10-нан 100 Мбит/с, 1 Гбит/с немесе одан да жоғарыға көшу. Алайда, мультимедиялық деректер қуатты сервер бөлігі елеулі бола бастайды, тіпті Ethernet-тің гигабиттік версиясында олар өз міндеттерін атқара алмай қалады.

Қуанышқа орай, түбегейлі шешім табылды, нақты коммутациялық Ethernet жергілікті желісі. Жүйенің жүрегі, барлық порттарды біріктіретін, жоғары жылдамдықты платадан тұратын коммутатор (**switch**) (4.17 ә-суретті қараңыз).

Коммутатордың сырт пішінінде концентратордан айырмашылығы жоқ. Бұл есілген парды қосу үшін, бірнеше (4-тен 48-ге дейін) стандартты RJ-45 ажыратқыштармен жабдықталған қарапайым қорапшалар. Әр кабель, 4.18-суретте көрсетілгендей, коммутатор немесе концентраторды бір компьютермен қосады. Коммутаторда концентратордың барлық артықшылығы бар. Жаңа станцияны қосу немесе алып тастау жеңіл, бір сымды қосу немесе ажырату арқылы. Кабельдің немесе порттардың істен шығуы тек бір станция дұрыс жұмыс жасамаған кезде жеңіл анықталады. Сонда да жалпы компонент жүйені істен шығаруы мүмкін – әңгіме коммутатордың өзі жайлы – егер желі барлық станцияларда жоқ болса, инженер бірден түсініп, құрылғыны ауыстырады.



4.18-сурет. Ethernet коммутаторы

Коммутатор ішінде барлығы мүлдем басқаша. Коммутаторлар кадрды тек тағайындалған порттарға береді. Коммутатор портына станциядан Ethernet кадры келген кезде, коммутатор Ethernet адресін тексеріп, кадрды қай портқа жіберу керек екенін анықтайды. Бұл қадам үшін коммутатор порт нөмірлерін және адресстерді сәйкестендіре білуі қажет. Бұл үрдіске біз кейінірек, бірнеше коммутаторларды бір біріне жалғауды қарастырған кезде тоқталамыз. Әзірше коммутатор кадрды қабылдаушы портты біледі деп шешейік. Ол кадрды өзінің жоғары жылдамдықты платасы арқылы қабылдаушы портына жібереді. Плата жылдамдығы секундына бірнеше гигабитті құрайды. Қолданыстағы хаттаманы стандарттаудың қажеті жоқ, себебі ол коммутатор шеңберінен шықпайды. Қабылдаушы порты, жалғастырушы сым арқылы кадрды тағайындалған станцияға жөнелтеді. Басқа порттар бұл кадр жайлы мүлдем білмейді де.

Егер екі машина немесе екі порт бір мезгілде кадр жөнелтсе не болады? Тағы да коммутатор әрекеті концентратордан өзгеше. Концентратор ішінде барлық станциялар бір **қақтығыс кеңістігінде (collision domain)** орналасқан. Кадр тасымалдауды жобалау үшін CSMA/CD алгоритмін пайдалану қажет. Коммутаторда әр порт өз қақтығыс кеңістігінде орналасқан. Тасымалдау кабель бойынша дуплексті режимде жүргізілетін, кең таралған жағдайда станция да, порт та басқа станциялар жайлы ойланбай, бір мезгілде кадрлар жөнелте алады. Қақтығыс мүмкін емес, CSMA/CD қажет емес. Алайда, егер кабель жартылай дуплексті болса, онда станция және порт CSMA/CD-ны әдеттегі тәсілмен пайдаланып, тасымалдау жайлы өзара келісуі керек.

Өнімділікке келетін болсақ, коммутатордың концентратор алдында екі артықшылығы бар. Біріншіден, қақтығыс жоқ болғандықтан, сыйымдылық тиімді шығындалады. Екіншіден, коммутатор артықшылығына байланысты, әртүрлі станциялар өз кадрларын бір мезгілде жөнелте алады, бұл өте маңызды. Бұл кадрлар коммутатор портына жетіп, құрылғының ішкі платасы арқылы дұрыс шығыс порттарына шығады. Алайда, бір шығыс порты бір мезгілде екі кадр жіберілуі мүмкін болғандықтан, коммутаторда дер кезінде шығыс портына жіберу мүмкін болмаса, кіріс кадрларды уақытша сақтауға арналған буфер болу керек. Жалпы бұл жетілдірулер өнімділікті ұлғайтуда үлкен көмек, ал концентраторда бұл мүмкін емес. Жүйенің жалпы өнімділігін, порттар саны және трафикті тасымалдау схемасына байланысты, бір ретке өсіруге болады.

Кадр жөнелтілетін порттар технологиясындағы өзгерістер, қауіпсіздік тұрғысынан да артықшылық береді. Жергілікті желілердің көптеген интерфейсі (желілік адаптерлер), барлық кадрлар тек тағайындалған адресатқа ғана емес, барлық компьютерлерге жөнелтілген кезде, «талғамсыз режимде» (**promiscuous mode**) жұмыс жасайды. Егер концентратор пайдаланылса, онда оған қосылған әр компьютер, басқа компьютерлер арасында тасымалданған трафикті көре алады. Шпиондар мен өсекшілер бұл ерекшелікті өте жақсы көреді. Коммутатор трафикті тек адресат портына жібереді. Мұндай шектеу окшауландыруды жақсы қамтамасыз етеді: трафик «қашпайды» және таза емес қолдарға түспейді. Алайда, егер сіздің ұйымыңызда қауіпсіздікті қатаң сақтау керек болса, трафикті қосымша шифрлаған дұрыс.

Коммутатор әр кіріс портында Ethernet кадрын күтетін болғандықтан, бұл порттардың бірнешеуін концентратор ретінде пайдалануға болады. *4.18-суретте* оң жақ жоғарғы бұрыштағы порт бір станция емес, 12-порттық концентратормен жалғанған. Концентраторға келгеннен кейін кадрлар әдеттегідей қақтығысты және екілік ұстамдықты қоса тартысады. Табысты кадрлар концентратор арқылы коммутаторға өтеді де, басқа кіріс кадрларға қолданылатын процедураға түседі. Коммутатор олардың өзіне тартыспен жеткенін білмейді. Коммутаторға енгеннен кейін олар жоғары жылдамдықты біріктіруші плата арқылы, қажет тораптарға жөнелтіледі. Адресаттың біреуі концентраторға қосылған тораптың біреуі болуы да мүмкін, бұл кадр жеткізілді дегенді білдіреді, коммутатор оны жойып тастайды. Концентраторлар коммутаторға қарағандай қарапайым және арзан, бірақ коммутатор бағасының тез төмендеуіне байланысты, ол жоғалып кету қаупінде тұр. Қазіргі желілерде негізінен Ethernet коммутаторлары пайдаланылады. Сонда да қолданыстағы концентраторлар әлі де бар.

4.3.5. Fast Ethernet

Шамамен коммутаторлар танымал бола бастаған кезде, Ethernet-тің 10 Мбит/с жылдамдығы, қандай да бір шектен шыққан жағдай болудан қалды. Бір кезде 10 Мбит/с – бұл бір ғажайып жоғары жылдамдық көрінетін. Телефон модемін

тұтынушылар, кабельдік модемді дәл осылай қабылдады. Алайда, әлем жылдам өзгереді. Паркинсон («Жұмыс оған жіберілген уақыттың барлығын алады») заңының бір салдары ретінде келесі ережені келтіруге болады: «Деректер арнаның ұсынылған өткізгіштік қабілетін толық алады».

Көптеген қосымшаларға жоғары өткізгіштік қабілеттілік қажет болды, сондықтан, қайталауыштар, концентраторлар және коммутаторлар лабиринтімен байланысқан, 10-Мбиттік ЖЕЖ пайда болды. Желілік әкімшілікке кейде жүйе әрең әрең тұр, тиіп кетсең шашылатындай болып көрінді. Тіпті Ethernet коммутатормен бір компьютердің ең үлкен өткізгіштік қабілеттілігі, коммутатор портымен жалғанған кабель шектелді. Міне, осындай жағдайда, 1992 жылы IEEE институты стандарттарды қайта қарай бастады және 802.3 комитетіне шапшаң желілер спецификасын құрастыруға тапсырыс берді. Ұсыныстың бірі, 802.3-ті өзгеріссіз сақтап, тек жұмыс жылдамдығын арттыру болды. Басқа ұсыныс, оны толығымен қайта құрастырып, жаңа функциялар жиынтығымен қамтамасыз ету – мысалы, деректерді нақты уақыт режимінде, дауысты сандық түрде тасымалдауды қамтамасыз ету. Сонымен бірге, стандарттың ескі атын сақтап қалу (коммерциялық шешім) керек болды. Біраз іркілістен кейін, комитет 8012.3-тің тек жылдамдығын өзгертіп, қалған параметрлерін өзгеріссіз қалдыруды шешті. Мұндай стратегия қажеттілікке технология өзгергенше жетіп, жаңа құрылыммен байланысты жоспарланбаған мәселелерден құтылуға мүмкіндік берер еді. Сонымен бірге, қолданыстағы Ethernet жергілікті желілермен кері үйлесімділік қамтамасыз етілер еді. Ұсынысы қабылданбағандардың жақтаушыларды бұл жағдайда компьютерлік индустриямен байланысқан кез келген адам тәрізді есікті тарс жауып кетіп қалды. Олар өз комитетін құрып, өз стандарттарын құрастырды (802.12), алайда стандарт жүзеге аспады.

Жұмыс тез жүрді (стандарттау комитетінің өлшемі бойынша), 1995 жылдың маусым айында **802.3u** стандартының құрылғандығы жайлы ресми түрде хабарланды. Техникалық тұрғыдан, оның алғашқы версиядан еш айырмашылығы жоқ. Стандартты жаңа емес 802.3-тің кеңейтілімі (оның кері үйлесімділігіне назар аудару үшін) деген шындыққа жақынырақ болар еді. Мұндай стратегия жиі қолданылады. Жаргондық «Fast Ethernet» (жылдам Ethernet) атауын барлығы пайдаланатын болғандықтан, бізде осы модаға еліктейміз.

Fast Ethernet-тің негізгі идеясы қарапайым: ескі кадр, интерфейс, процедуралар форматтарын өзгеріссіз қалдыру және бір битті тасымалдау жылдамдығын 100-ден 10 нс-қа дейін кішірейту. Бұны техникалық тұрғыдан қалай іске асыруға болады? Классикалық 10-мегабиттік Ethernet принципін көшіріп алуға болады, бірақ сегменттік ең үлкен ұзындығын 10 есе кішірейту керек. Алайда, есілген пардың артықшылығы сөзсіз еді, сондықтан «Fast Ethernet» тәрізді жүйелердің барлығы осы кабель түрінде құрастырылды. Сонымен, Fast Ethernet-те тек концентраторлар мен коммутаторлар пайдаланылады, ешқандай «вампитісі» типті тармақтандырушы немесе BNC коннекторы бар моноарна мұнда жоқ.

Алайда, кейбір техникалық шешімдерді қабылдау керек болды. Ең маңызды сұрақ, қандай типтегі кабельдерді қолдау керек. Үміткердің бірі 3 категориялы

есілген пар болды. Оның пайдасына шешілген бірінше аргумент іс жүзінде шығыс офистерының барлығы дерлік, кем дегенде төрт 3 категориялы есілген пармен жабдықталған. Олар телефон тораптарында қолданылды және олардың ұзындығы (жақын арадағы телефон тұстамасына дейін) 100 м аспады. Кейде осындай екі кабельді кездестіруге болады. Сонымен, ұйымдарда Fast Ethernet-ті орнатуға болатын болды және бұл үшін бүкіл ғимаратта кабель жүргізу қажет емес. Бұл көбі үшін маңызды еді.

Бұның тек бір ыңғайсыз жері болды: үшінші категориялы есілген пар 100-мегабиттік желі сигналын 100 метр арақашықтықта (стандарттың 10-мегабиттік концентратор үшін орнатқан, компьютер мен концентратор арасындағы ең үлкен арақашықтық дәл осындай еді) тасымалдауға қабілетсіз болды. Бесінші категориялы есілген парлар бұл тапсырманы еш қиналмай шешер еді, ал оптоалшық үшін бұл тіпті күлкілі сан. Қандай да бір келісімге келу керек болды. 802.3 комитеті көп ойланбай, 4.2-кестеде көрсетілген шартпен, кабельдің үш түрін де қолдануды шешті. Үшінші категориялы есілген пар негізіндегі шешім сәл жылдамырақ болып, арнаның қажет сыйымдылығын қамтамасыз ете алады.

4.2-кесте.

Fast Ethernet желісі кабельдердің негізгі түрлері

Аты	Түрі	Сегмент ұзындығы, м	Артықшылығы
100Base-T4	Есілген пар	100	3 категориялы экрандалмаған есілген парды пайдалану
100Base-TX	Есілген пар	100	100 Мбит/с-та толық дуплекс (5 категориялы есілген пар)
100Base-FX	Опытталшық	2000	100 Мбит/с-та толық дуплекс, үлкен сегмент ұзындығы

Үшінші категориялы есілген парды пайдаланатын 100Base-T4 схемасында сигналдық жылдамдық 25 МГц құрайды, бұл 20 МГц Ethernet стандартынан (естеріңізде болса, жоғарыда талқыланған Манчестерлік кодтауда екі еселенген жиілік қажет) бар жоғы 25% жоғары. Қажет өткізгіштік қабілетке қол жеткізу үшін, 100Base-T4 схемасында төрт есілген пар қолданылады. Төрт есілген пардың біреуі үнемі концентраторға бағытталған, біреуі – концентратордан, ал қалған екеуі ағымдағы деректер тасымалдау бағытына сәйкес қайта қосылады. Есілген қос сымның әр бағытында 100Мбит/с жылдамдықпен тасымалдау үшін, үш сандық сигналды үш түрлі кернеумен жөнелтудің күрделі схемасы қолданылады. Бұл схеманың әсемділік үшін жұлдеге ие болуы екіталай, сондықтан егжей-тегжейіне тоқталмайық. Алайда стандартты телефон сымында, ондаған жылдар бойы әр кабельде төрт есілген пар қолданылған, сондықтан көптеген офистерде бар кабельдерді пайдалануға болады. Алайда, бұл үшін офистегі телефоннан бас тартуға тура келеді, бірақ жылдам электрондық пошта үшін бұл арзан баға.

Көптеген офистық ғимараттарда, соңғы кезде нарықты жаулап алған, **100Base-TX** желісі үшін бесінші категориялы есілген пар жүргізілгендіктен, 100Base-T4 жүйесі мәреге жеткен жоқ. Бұл типтегі кабельдер 125МГц жиіліктегі сигналдармен жұмыс жасайтын болғандықтан, мұндай схема өте қарапайым. Сондықтан әр станция үшін екі есілген пар қолданылады: біреуі концентратқа ену, екіншісі одан шығу. Тікелей биттік кодтау (NRZ) да, манчестерлік код та қолданылмайды. Олардың орнына **4В/5В** деп аталынатын арнайы кодтау жүйесі қолданылады. Деректердің 4 биті 125 МГц жиілікте бес сигналдық бит формасында кодталып жөнелтіледі және 100Мбит/с жылдамдықты қамтамасыз етеді. Бұл қарапайым схема, алайда мұнда синхрондауды қамтамасыз ету үшін біршама көшулер орындалады және өткізгіштік жолағы тиімді қолданылады. 100Base-TX жүйесі жартылай дуплексті, бір есілген пар бойымен қабылдап және сол жылдамдықпен екіншісі арқылы жөнелтуге болады.

Соңғы 100Base-FX нұсқасы екі оптикалық көпмодылық кабель қолданады. Әр бағытта бір тасымалдау, демек 100Мбит/с жылдамдықтағы толық дуплекс. Бұл нұсқада станция мен коммутатор арақашықтығы 2 км дейін жетеді.

FastEthernet концентратор немесе коммутатор арқылы байланысады. CSMA/CD алгоритмі дұрыс жұмыс жасау үшін, жылдамдықтың 10-нан 100 Мбит/с дейін өскендігін ескере отырып, кадрдың ең кіші мөлшері мен кабельдің ең үлкен ұзындығы арасындағы қатынасты сақтау қажет. Сонымен, не ең кіші кадр мөлшерін үлкейту (64 байттан жоғары), немесе кабельдің ең үлкен ұзындығын пропорционалды кішірейту (2500м-ден кіші). Ең қарапайым әдіс: жүз метрлік кабельі бар концентратор жаңа шекерадан шықпайтын болғандықтан, екі станция арасындағы арақашықтықты 10 есе кішірейту. Алайда, 100Base-FX 2 км кабельдері, Ethernet желілеріндегі қақтығыстарды әдеттегі басқару алгоритмі бар, 100-мегабиттік концентратор үшін тым ұзын. Бұл кабельдерді, жартылай дуплексті режимде қақтығыстарсыз жұмыс жасау үшін коммутаторға жалғау керек.

Fast Ethernet тұтынушылардың көңілінен шықты, дегенмен олар 10-Мбиттік Ethernet платасын ескі компьютерден алып тастаған жоқ. Нәтижесінде, барлық коммутаторлар 10 Мбиттік және 100 Мбиттік станцияларды қолдайтын болды. Жаңартуларды жеңілдету үшін стандартта **автоматты үйлестіру (autonegotiation)** механизмі қарастырылған. Механизм екі станцияны тиімді жылдамдық (10 немесе 100 Мбит) және дуплексті режим (толық немесе жартылай) жайлы автоматты түрде үйлестіреді. Әдетте, ол жақсы жұмыс жасайды, алайда дуплекстік режимнің сәйкес келмеген жағдайлары бар. Бір станция автоматты үйлесуді қабылдайды, ал екіншісінде жұмыс жасамайды және бірден жартылай дуплексті режим орнатылады (Shalunov, Carlson, 2005). Ethernet аппаратураларының көбі бұл функцияны өз өзін баптау үшін қолданады.

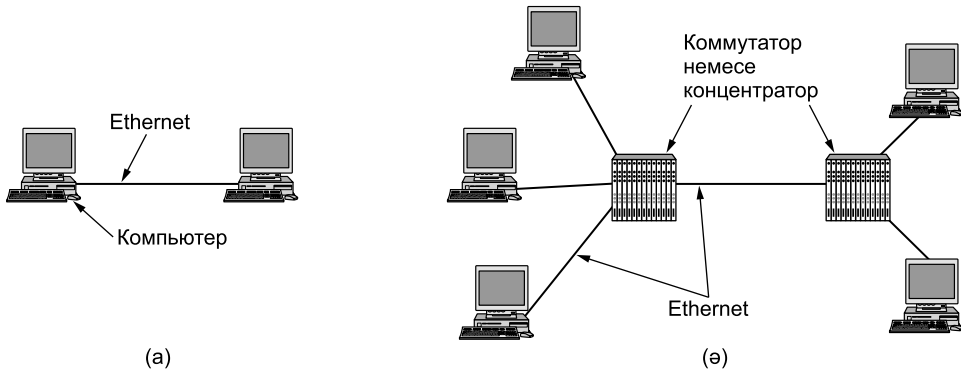
4.3.6. Gigabit Ethernet

Жаңа құрылған Fast Ethernet стандартының сиясы кеппей жатып, 802 комитеті

жаңа нұсқаны құрастыруға кірісіп кетті. Оған бірден **Gigabit Ethernet (гигабиттік Ethernet желісі)** деген ат берілді. IEEE желінің ең танымал формасын 1999 жылы 802.3ab деген атпен бекіткен. Төменде біз Gigabit Ethernet-тің кейбір негізгі сипаттамаларына тоқталамыз. Толық ақпаратты Spurgeon, 2000 алуға болады.

Комитеттің Gigabit Ethernet-ке қатысты ойының негізі Fast Ethernet-пен болған жағдай тәрізді: ескі Ethernet желілерімен кері үйлесімділікті сақтай отырып өнімділікті 10 есе өсіру. Нақтырақ, Gigabit Ethernet бірадрестік және кеңтаратылымды тасымалдау кезінде, мақұлдаусыз дейтеграммалық қызмет түрін қамтамасыз етуі қажет. Сонымен бірге 48-биттік адреcтеу схемасын және кадр форматын, оның мөлшеріне қойылатын төменгі және жоғарғы шарттарымен қоса сақтап қалу керек. Жаңа стандарт барлық талаптарды қанағаттандырды.

FastEthernet тәрізді, Gigabit Ethernet-тің барлық пішін үйлесімі «нүкте-нүкте» принципі бойынша құрылады. Қарапайым, өзара тікелей жалғасқан екі компьютерден тұратын гигабайттық желі *4.19 а-суретінде* көрсетілген. Жалпы жағдайда желіде, бірнеше компьютерлер қосылатын концентратор немесе коммутатор бар және қосымша концентратор немесе коммутатор жалғауға болады (*4.19 ә-сурет*). Кез келген жағдайда Gigabit Ethernet-тің бір кабеліне тек екі құрылғы қосылады.



4.19-сурет. Ethernet желісі: а – екі станциядан тұратын; ә – бірнеше станциядан тұратын

Fast Ethernet тәрізді, Gigabit Ethernet те екі режимде жұмыс жасайды: жартылай дуплексті және толық дуплексті. Толық дуплексті режим «Қалыпты» болып саналады. Бұл режимде трафик екі бағытта жүреді. Режим, сыртқы компьютермен немесе коммутатормен байланысқан орталық коммутатор бар кезде қолданылады. Бұл пішін үйлесімінде барлық торап сигналдары буферге жиналады, сондықтан абоненттер деректерді кез келген уақытта жөнелте алады. Жөнелтуші арнаны тыңдамайды, сондықтан ол ешкіммен бәсекеге түспейді. Компьютер мен коммутатор арасындағы байланыста, компьютер жалғыз жөнелтуші, сондықтан бір мезгілде коммутатордан да, компьютерден де сигнал тасымалданса, тасымалдау ойдағыдай іске асады (торап толық дуплексті). Дәл осы жағдайда бәсекелестік жоқ болғандықтан, CSMA/CD хаттамасы қолданылмайды, сондықтан кабельдің ең

үлкен ұзындығы сигналдың қуаттылығымен анықталады, ал шудың тарқау уақыты жайлы мәселе қозғалмайды. Коммутаторлар аралас жылдамдықпен жұмыс жасай алады, олар тіптен тиімді жылдамдықты автоматты түрде таңдайды. Fast Ethernet-тегідей өз-өзін баптау қарастырылған, ал жылдамдықты енді 10, 100 немесе 1000 Мбит/с таңдауға болады.

Жартылай дуплексті режим компьютерлер коммутатормен емес концентратормен жалғанған кезде жұмыс жасайды. Концентратор енген кадрларды буферлемейді. Оның орнына ол барлық тораптарды электрлік түрде байланыстырып, әдеттегі Ethernet моноарнасын симуляциялайды. Бұл режимде қайшылықтар туындауы мүмкін, сондықтан CSMA/CD қолданылады. Ең кіші мөлшерлі кадр (64 байт) дәстүрлі Ethernet желісіне қарағанда 100 есе жылдам тасымалданатын болғандықтан, кабель ұзындығы сәйкесінше 100 рет қысқартылуы керек. Оның ұзындығы 25м – станциялар арасындағы дәл осындай арақашықтықта, шудың тарқауы жөнелтушіге тасымалдаудың аяқталу уақытына дейін кепілді түрде жетеді. Егер кабельдің ұзындығы 2500м болса, онда 64 байттық кадрды жөнелтуші жылдамдық 1Гбит/с болғанда, сигналдың қайтып оралуын есепке алмағанда, оның кадры бір бағыттағы жолдың 10-нан бір бөлігін өткенше талай жұмыс жасап үлгеруші еді.

Ұзындыққа қойылатын шектеу қатты болғандықтан, комитет стандартқа кабельдің ең үлкен ұзындығын 200 м дейін ұзартуға мүмкіндік беретін екі жаңа қасиет енгізуді жөн санады. Бұл шешім көптеген ұйымдарды қанағаттандыратын еді. Біріншісі **тасымалдаушыны кеңейту (carrier extension)** деп аталады. Кеңейту тек қана аппаратураның, қалыпты кадрды 512 байтқа дейін кеңейтіп, жекеменшік толтыру өрісін ұсынуын қамтиды. Өрісті жөнелтуші қосып, оны қабылдаушы алып тастайтын болғандықтан, программалық жабдықтаманың оған ешқандай қатысы жоқ. Әрине, 512 байтты 64 байт ақпарат тасымалдау үшін жұмсау, өткізгіштік қабілетті тиімді қолдану жағынан алғанда – бейберекет. Мұндай тасымалдаудың тиімділігі, небәрі-9%.

Екінші қасиет, сегменттің ұзындығын үлкейту – кадрлерді дестелеп тасымалдау (frame bursting). Бұл, жөнелтуші жазғыз бір кадр емес, бірнеше кадрлардан тұратын десте жібере алады дегенді білдіреді. Егер дестенің толық ұзындығы 512 байттан кем болса, онда алдыңғы жағдайдағыдай жалған деректермен толтырылады. Осындай үлкен дестені толтыруға мүмкіндік беретін, жөнелтуді күтіп тұрған кадрлар саны жеткілікті болса, онда жүйенің жұмысы өте тиімді болады. Мұндай схема, әрине, тасымалдаушыны кеңейту режимінен артық.

Гигабайттық Ethernet желісі үшін қажет платалармен жабдықталған қазіргі заманға компьютерлерге көптеген қаржы жұмсап, оны дәстүрлі Ethernet жұмысын, оның барлық қайшылықтары және басқа да кемшіліктерімен орындайтын, ескі концентраторы бар компьютермен байланыстыратын ұйымды елестету қиын. Gigabit Ethernet-тің интерфейсі және коммутаторлары кезінде өте қымбат болған, ал оған сұраныс өскеннен кейін баға біршама түсті. Алайда, кері үйлесімділік – компьютер өнеркәсібінде киелі нәрсе, сондықтан комитеттің оны ескеруі қажет болды. Бүгінде компьютерлердің көбі 10, 100, 1000 Мбит/с жылдамдықты қолдайтын

және Ethernet-тің барлық нұсқаларларымен үйлесімді Ethernet интерфейсімен қамтылған.

Gigabit Ethernet, 4.3-кестеде көрсетілгендей қола, сонымен қатар опыталшықты кабельдерді де қолдайды. 1 Гбит/с жылдамдықтағы жұмыс битті әр наносекунд сайын кодтап, жөнелтуді қажет етеді. Алғашқыда бұл қысқа, экрандалған қола кабельдер (1000Base-CX нұсқасы) және опыталшық көмегімен іске асырылды. Талшықты оптикада екі ұзындықтағы толқынды өткізеді, демек екі түрлі нұсқа бар: 0,85 мкм (қысқа толқындар, 1000Base-SX үшін) және 1,3 мкм (ұзын толқындар, 1000Base-LX үшін).

4.3-кесте

Gigabit Ethernet кабельдері

Аты	Түрі	Сегмент ұзындығы, м	Артықшылығы
1000Base-SX	Оптоталшық	550	Көпмодылы талшық (50, 62.5 мкм)
1000Base-LX	Оптоталшық	5000	Бірмодылы (10 мкм) немесе көпмодылы (50, 62.5 мкм) талшық
1000Base-CX	2 экрандалған есілген парлар	25	Экрандалған есілген пар
1000Base-T	4 экрандалмаған есілген парлар	100	5-ші категориялы стандартты есілген пар

Сигналдарды қысқа толқындар көмегімен арзан сәулелі диодтар арқылы тасымалдауға болады. Мұндай нұсқа көпмодылы талшықпен, бір ғимарат ішіндегі станцияларды байланыстыру үшін қолданылады. Себебі 50 мкм-дік талшық үшін ықтимал ұзындық 500 м. Ұзын толқындарда сигналды тасымалдау қымбат лазерлерді талап етеді. Екінші жағынан, бірмодылық (10 мкм) талшықпен ұзындығы 5 км кабель қолдануға болады. Бұл, ғимараттарды бір-бірімен байланыстыруға болады дегенді білдіреді, мысалы, студенттер қалашығында «нүкте-нүкте» тәрізді байланысты қолдану. Стандарттың кейінгі вариациялары бірмодылық талшықта бұдан да ұзын байланыстарға рұқсат етеді.

Gigabit Ethernet-тің осы байланыс нұсқалары арқылы бит жөнелту үшін басқа Fibre Channel (опты талшықты арна) желілік технологиясынан, жоғарыда айтылған 8B/10B кодтау жүйесі алынған. Бұл жүйеде 8 бит дерек 10 бит кодтық сөзге түрлендіріліп, сымдар немесе оптикалық талшық бойымен жөнелтіледі – сондықтан оның аты 8B/10B. Кодтық сөз, тепе-теңдік сақталатындай (мысалы, нөлдер және бірлер саны бірдей) және синхрондықты сақтау үшін ауысым жеткілікті болатындай етіп таңдалады. NRZ кодталған биттерін жөнелту, кодталмаған биттерді жөнелтуге қарағанда өткізгіштік жолақтың тек 25%-ға

артық болуын қажет етеді. Бұл жүз пайыздық өсуді талап ететін манчестерлік кодқа қарағанда әлдеқайда жақсы.

Алайда мұның барлығы сигналды жылдам тасымалдауды қолдайтын жаңа қола және оптоалшықты кабельдерді қажет етеді. Олардың ешқайсысы Fast Ethernet желісіне ұсынылған, көптеген есілген пардан тұратын бесінші категориялы кабельге негізделмеген. Бір жыл ішінде қажеттілік 1000Base-T арқасында толтырылды және содан бері бұл Gigabit Ethernet-тің танымал формасы болып келеді. Адамдар өз ғимараттарында кабельді қайта жүргізгенді қаламайды.

Ethernet желісі 1000 Мбит/с жылдамдықпен бесінші категориялы сымдарда жұмыс жасау үшін, сигналдар жөнелтудің күрделі схемасы қажет. Біріншіден, кабельдегі төрт есілген пардың барлығы қолданылады; әрқайсысы сигналды бір мезгілде екі бағытта жөнелтеді және сигналдарды бөлу үшін сандық өңдеуді пайдаланады. 125Мсимвол/с жылдамдықты қамтамасыз ету үшін әр сымда бес деңгейлі кернеу қолданылады. Олардың әрқайсысы 2 бит тасымалдайды. Биттен символ құрастыру схемасы қарапайым емес. Ол шифрлауды (қауіпсіз жөнелту үшін) және бес сигналдық деңгейге төрт мән енгізілетін, кателікті түзеу кодынан тұрады.

1 Гбит/с – бұл өте көп. Мәселен, егер қыбылдағыш 1 мс ішінде басқа жұмысқа көңіл бөліп немесе буферді босатуды ұмытып кетсе, онда ол шамамен 1953 кадрды жіберіп алады. Басқа да жағдай болуы мүмкін: бір компьютер деректерді гигабайттық жүйе бойынша жөнелтеді ал екіншісі дәстүрлі Ethernet бойынша қабылдайды. Бірінші компьютер екіншісін әп сәтте деректермен басып тастауы ықтимал. Ең алдымен алмасу буфері толып кетеді. Сондықтан, Gigabit Ethernet жүйесіне ағынды бақылауды енгізу шешімі қабылданды. Ағынды бақылауды жүзеге асыру үшін екі жақтың бірі екіншісіне, деректер жөнелтуді біраз уақыт тоқтата тұру керек екендігі жайлы қызметтік кадр жөнелтеді. PAUSE қызметтік кадры – бұл әдетте *Type* өрісінде 0x8808 мәні жазылған қарапайым Ethernet кадры. Үзіліс ұзақтығы ең кіші кадрды жөнелту уақыт бірлігімен есептеледі. Gigabit Ethernet үшін мұндай бірлік 512 нс, үзіліс ұзақтығы 33,6 нс болуы мүмкін.

Gigabit Ethernet-пен бірге тағы бір кеңейтілім де қосылды. **Джамбо-дестелермен (Jumbo frames)** ұзындығы 1500 байттан үлкен кадрларды жөнелтуге болады, әдетте ол 9 Кбайт. Бұл кеңейтілім патентпен қорғалған. Ол стандартта анықталмаған, себебі кері жағдайда Ethernet алдыңғы нұсқалармен үйлеспейді. Сонда да кейбір өндірушілер оны қолдайды. Негіз: 1500 байт – гигабайттық жылдамдық үшін тым кіші ақпарат бірлігі. Үлкен ақпарат блоктарымен айла-шарғы жасап, кадрлар жөнелту жиілігін азайтуға және өңдеу жүктемесін төмендетуге (мысалы, кадрдың келгендігі жайлы хабарлау үшін процессорды тоқтатудың немесе Ethernet-тің бір кадрына сыймай қалған мәліметтерді бөліп, кейіннен қайта біріктірудің қажеті жоқ) болады.

4.3.7. 10-гигабиттік Ethernet

Gigabit Ethernet стандартталды, 802 комитеттің іші пысты. Сол кезде оған IEEE 10-Gigabit Ethernet (10 гигабиттік Ethernet) құрастыру жұмысын бастауды ұсынды.

Стандарттау кезінде жұмыс алғашқыдағы, Ethernet-тің алдыңғы версияларын стандарттау принципі бойынша жүрді. Алғашқы оптоалшық және экрандалған қола кабель стандарттары 2002 және 2004 жылдары пайда болды, ал қола есілген пар стандарты 2006 жылы шықты.

10 Гбит/с – бұл шынында үлкен жылдамдық. Ethernet-тің алғашқы стандартынан 1000 есе жылдам. Ол қай жерде қажет болуы мүмкін? Жауап мәліметтер орталығы және жоғары класты маршруттауыштармен, коммутаторлармен, серверлермен трафик алмасу нүктелерінде, сонымен бірге компаниялардың әртүрлі қалаларда орналасқан офистерын байланыстыратын, асыра жүктелген магистралдық арналарда еді. Оптоалшық және Ethernet негізінде бүкіл қаланы бірегей желімен қамту мүмкін еді. Мұндай ұзын байланыстар оптикалық талшықты қолданады, ал қысқа байланыстар қола кабельдер негізінде орындалады.

10-Gigabit Ethernet-тің барлық версиялары тек толық дуплексті деректер тасымалдауды қолдайды. CSMA/CD енді құрылымның бір бөлігі емес және стандарт жоғары жылдамдықты қамтамасыз ететін физикалық деңгейдің бөлшектеріне фокусталған. Алайда үйлесімділік өзінің өзектілігін жоғалтқан жоқ, сондықтан 10-Gigabit Ethernet ирнтерфейсі жылдамдықты автоматты түрде келістіріп, тораптың екі жағына да ең тиімдісін таңдайды.

10-Gigabit Ethernet-тің негізгі түрлері *4.4-кестеде* келтірілген. Орта арақашықтықта толқын ұзындығы 0,85 мкм көпмодылы талшық қолданылады, ал үлкен арақашықтарда – толқын ұзындығы 1,3 және 1,5 мкм бір модылы талшық қолданылады. 10GBase-ER желісі 40 км дейін қамти алады, бұл ауқымды қосымшалар үшін жақсы сәйкес келеді. Версиялардың барлығы деректер биті мен 64В/66В кодталуын араластыру арқылы алынатын, ақпараттың тізбекті ағынын жөнелтеді. Мұндай кодтау 8В/10В қарағанда қосымша шығынды аз талап етеді.

4.4-кесте.

10-Gigabit Ethernet кабельдері

Аты	Түрі	Сегмент ұзындығы	Артықшылығы
10GBase-SR	Оптоалшық	300 м дейін	Көпмодылы талшық (0,85 мкм)
10GBase-LR	Оптоалшық	10 км	Бірмодылы (1,3 мкм) талшық
10GBase-ER	Оптоалшық	40 км	Бірмодылы (1,5 мкм) талшық
10GBase-CX4	4 пар биаксиалды кабель	15 км	Биаксиалды қола кабель
10GBase-T	4 пар экрандалмаған есілген пар	100 м	ба категориялы экрандалмаған есілген пар

Бірінші анықталған версия, 10GBase-CX4, төрт пар биаксиалды қола сым кабельі негізінде жұмыс жасайды. Кабельдің әр парында 8В/10В коды қолданылады және олар 3,125 Гсимвол/с жылдамдықпен жұмыс жасап, 10Гбит/с жылдамдықты қамтамасыз етеді. Бұл версия талшықтыдан арзан және нарыққа бірінші шықты,

алайда оның нарықтан есілген пар негізіндегі 10-Gigabit Ethernet-і ысырып шығара алатындығы түсініксіз.

10GBase-T – бұл версия экрандалмаған есілген пармен жұмыс жасайды. Ресми түрде оның ба категориялы кабельді жүргізуде қажет ететіндігіне қарамастан, әзірше категориясы ескі кабельді (бесіншіні қоса) қолдануға болады, демек әлем бойынша көптеген ғимараттарда жүргізілген кабельдер. Есілген парда 10 Гбит/с жылдамдыққа жету үшін физикалық деңгейге көп күш салу керек. Біз тек жалпы ерекшеліктерді қарастырамыз. Төрт есілген пардың әрқайсысы деректерді екі бағытта, 2500Мбит/с жылдамдықпен тасымалдау үшін қолданылады. Бұл сигналды 800 Мсимвол/с жылдамдықпен 16 деңгейлік кернеуде жөнелту арқылы іске асырылады. Символдар, деректерді **LDPC (Low Density Parity Check)** кодын қолданып араластыру және кейіннен қателіктерді түзету үшін кодтау арқылы жүзеге асырылады.

10-Gigabit Ethernet түрлі нұсқалары нарықты әлі бөліскен жоқ, ал 802.3 комитеті ары қарай жүріп кетті. 2007 жылдың соңында IEEE 40 және 100 Гбит/с жылдамдықпен жұмыс жасайтын Ethernet желілерін стандарттау тобын құрастырды. Мұндай талпыныс Ethernet-ке жоғары өнімділікті талап ететін, қалааралық байланыстағы магистральдік желілер және құрылғылардың жүйелік платалар арқылы байланысатын қысқа байланыстар саласындағы, альтернативті (балама) технологияларға байыпты бәсекелес болуға мүмкіндік береді. Стандарт сипаттамасы әлі аяқталған жоқ, алайда патенттелген өнімдер қолжетімді.

4.3.8. Ethernet өткеніне шолу

Ethernet-тің пайда болғанына 30 жылдан астам уақыт өтті, содан бері ешқандай байыпты бәсекелес пайда болған жоқ. Жақын арада пайда болмайтын да сияқты. Аздаған ғана микропроцессорлық құрылымдар, операциялық жүйелер және программалау тілдері дәл осындай ұзақ және батыл жетекшілікпен мақтана алады. Демек, Ethernet басқа жүйелерден тиімді ерекшеленеді. Несімен?

Ұзақ жетістіктің негізгі себебі, мүмкін, жүйенің қарапайымдылығы мен икемділігінде шығар. Қарапайымдылық бұл жағдайда, ең алдымен, сенімділік, төмен баға және қызмет көрсетудегі жеңілділік. Концентратор және коммутаторлар негізіндегі құрылымдар мақұлданғаннан кейін, таза техникалық істен шығу азайды. Адам баласының жақсы жұмыс жасайтын нәрседен басқа бір зат пайдасына бас тартуы өте қиын. Сонымен бірге, қиындықпен жиналған көптеген компьютерлік аппаратураның сенімді жұмыс жасамайтындығын да естен шығармау керек. Дәл осы себептен «қайта жасақтау» (апгрейд) көбіне күтілген нәтижеге қарама-қарсы нәтиже береді. Жүйелер «қайта жасақтаудан» кейін жақсы жұмыс жасау орнына, бастапқыдан да нашар жұмыс жасайтын жағдайлар да болады.

Екінші себеп, Ethernet танымалдығы – бұл төмен баға. Есілген пар салыстырмалы түрде қымбат емес, аппараттық компоненттер де. Шығынды, мысалы, Gigabit Ethernet-тің жаңа платалары немесе коммутаторлар қажет етуі мүмкін, бұл

тек қолданыстағы желіге қосымша (барлық құрылғыларды толық ауыстыру емес) және көтерме баға бөлшектік бағаға қарағанда әлде қайда тиімді.

Ethernet желілері жүйелік әкімшілікке үлкен бас ауруын әкелмейді – оған қызмет көрсетудің еш қиындығы жоқ. Ешқандай программалық жабдықтама (драйверден басқа) орнатудың қажеті жоқ және пішін үйлестіру кестелері (оларда қателесу жеңіл) өте аз. Жаңа түйіндер өте қарапайым қосылады.

Ethernet-тің тағы бір артықшылығы, Интернет желісінің басым хаттамасы, TCP/IP-мен жақсы үйлеседі. IP – байланыссыз қосылу хаттамасы, сондықтан ол байланыс орнатусыз қосылу хаттамаларын қолдайтын Ethernet жергілікті желілеріне ешбір қиындықсыз ендіріледі. IP, байланыс орнатуға бағытталған АТМ желілерімен нашар үйлеседі. Бұл факт АТМ желілерінің танымалдылығына кері әсер етеді.

Ең маңыздысы, Ethernet құрастырушылары негізгі бағыттар бойынша жақсы көрсеткіштерге қолжеткізді. Жылдамдық бірнеше ретке өсті, жүйеге коммутаторлар мен конденсаторлар енгізілді, бірақ бұл өзгерістер программалық жабдықтамаларға әсер еткен жоқ. Бұдан басқа, ол қолданыстағы кабельді ұзақ уақыт қолдануға мүмкіндік береді. Егер сатушы: «Міне, тамаша жаңа желілік жүйе! Ол ғажайып жылдам және сенімді жұмыс жасайды! Сізге тек өзіңіздің ескі техникаңызды лақтырып, барлық ескі программаларыңызды өшіру керек», – десе, онда оның сатылу көлемі азаяды.

Көптеген балама технологиялар, олар жайлы тіпті сіз естіген боларсыз, пайда болған кезде, сол кездегі Ethernet-тен әлдеқайда жылдам болатын. Бұл тізімге АТМ-нен басқа FDDI және **талшықты-оптикалық арна (FC – Fibre Channel)** сақина негізіндегі екі оптикалық жергілікті желі кіреді. Олардың екеуі де Ethernet-пен үйлесімсіз болды. Ешқайсысы аман қалмады. Олар тым күрделі еді, бұл микросхеманың күрделенуіне және бағаның өсуіне әкелді. Сабақ өте қарапайым: **АҚБ – ақымақ, қарапайым бол (KISS – Keep It Simple, Stupid)**. Кейіннен, Ethernet оларды жұмыс жағынан қуып жетіп, артта қалдырды. Жол-жөнекей бәсекелес технологиялардың құрама бөліктерін (мысалы, FDDI-ден 4B/5B және FC-ден 8B/10B кодтарын) ала кетті. Бәсекелестердің еш артықшылықтары қалмады, олар не тыныш жойылды, не жіңішке мамандандырылған салаларға ауысып кетті.

Ethernet-тің қолданыс аумағы кеңейіп келе жатқандай әсер қалады. 10-Gigabit Ethernet CSMA/CD қойған, ең үлкен арақашықтық шектеуінен арылды. Провайдерлерге қалалық және ауқымды желілердегі өз тұтынушыларына Ethernet негізіндегі қызмет түрлерін ұсынуға мүмкіндік беретін, **операторлық класстағы Ethernet-ке (carrier-grade Ethernet) көп көңіл бөлінеді (Fouli, Maler, 2009)**. Бұл қосымша Ethernet кадрларын оптоалшықты кабель бойымен үлкен арақашықтыққа тасымалдауға мүмкіндік береді және операторлар тұтынушыларға сенімді жоғары дәрежелі қызмет түрін ұсыну үшін басқаруды жетілдіруді талап етеді. Жылдам желілер де, маршруттауыштардағы немесе серверлердегі компоненттерді байланыстыру үшін, жүйелік платаларда қолданыс тапты. Бұл екі нұсқа да, офистағы компьютерлер арасында кадрлар тасымалдау мәселесінде тек қосымша болып саналады.

4.4. СЫМСЫЗ ЖЕРГІЛІКТІ ЖЕЛІЛЕР

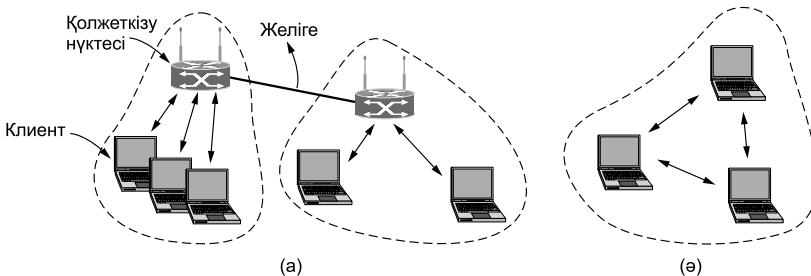
Сымсыз жергілікті есептеу желілері танымал болып келеді. Көптеген үйлер, офис ғимараттары, кафе, кітапхана, аэровокзалдар, зоопарктер және басқа да қоғамдық орындар компьютерді, ҚПК және смартфондарды Интернетке қосуға қажет сәйкес аппаратуралармен жабдықталған. Сымсыз желіде екі немесе бірнеше көршілес компьютерлер Интернетке қосылмай-ақ мәлімет алмаса алады.

Сымсыз жергілікті желілердің негізгі стандарты – 802.11. Кейбір жалпы ақпаратты біз 1.5.3 бөлімде келтірдік. Енді 802.11 стандартының технологиялық тұсына тереңірек көз жүгіртеміз. Келесі бөлімдерде хаттамалар стегі, радиотасымалдау әдістері (физикалық деңгейде), MAC ішкі деңгейінің хаттамасы, кадр құрылымы және қызметтер жайлы сөз болады. 802.11 стандарты жайлы қосымша ақпаратты (Gast, 2005) басылымынан алуға болады. Ақпаратты бірінші қолдан алу үшін IEEE 802.11-2007 стандартының ресми техникалық сипаттамасын қараңыз.

4.4.1. 802.11 стандарты: құрылымы және хаттамалар стегі

802.11 желілерін екі режимде қолдануға болады. Ең танымал режим – бұл, ноутбуктер және смартфондар тәрізді клиенттерді басқа желіге, мысалы, компанияның ішкі желісіне немесе Интернетке қосу. Мұндай схема 4.20 а-суретінде көрсетілген. Инфрақұрылымдық режимде (infrastructure mode) әр клиент желіге қосылған қол жеткізу нүктесімен (Access Point, AP) байланысады. Клиент дестелерді қол жеткізу нүктесі арқылы жөнелтеді және қабылдайды. Бірнеше қол жеткізу нүктесін біріктіруге болады, әдетте таратылған жүйе (distribution system) деп аталатын кабельдік желіге біріктіріледі. Осылайша 802.11 желісінің кеңейтілімі құрастырылады. Бұл жағдайда клиенттер кадрларды басқа клиенттерге олардың қол жеткізу нүктесі арқылы жөнелте алады.

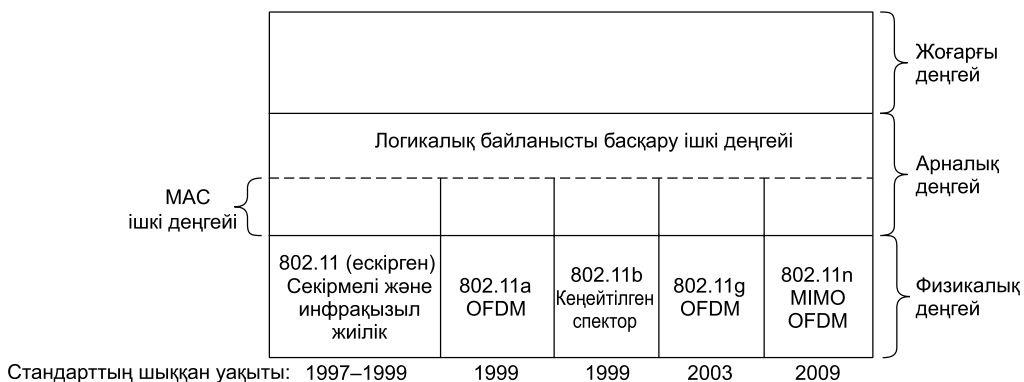
4.20 ә-суретінде көрсетілген екінші режим, **еркін желі (ad hoc network)** деп аталады. Бұл – бір-біріне кадрлар жөнелте алатындай етіп байланысқан компьютерлер жиыны. Қол жеткізу нүктесі қолданылмайды. Сымсыз байланыста Интернетке қол жеткізу революциялық технология болғандықтан, еркін желілер аса танымал емес.



4.20-сурет. 802.11 стандартының құрылымы: а – инфроқұрылымдық режим; ә – еркін режим

Енді хаттамаларға көз жүгіртейік. Барлық 802.x стандарттарының, 802.11 және Ethernet қоса алғанда, қолданатын хаттамалары құрылымы жағынан ұқсас. Хаттамалар стегінің бір бөлігі *4.21-суретте* көрсетілген. Стек клиенттер және қол жеткізу нүктелері үшін бірдей. Физикалық деңгей іс жүзінде OSI модельінің физикалық деңгейіне сәйкес келеді, ал арналық деңгей 802.x хаттамаларының барлығында екі немесе одан да көп ішкі деңгейге бөлінген. 802.11 алатын болсақ, MAC (ортаға қол жеткізуді басқару) ішкі деңгейі арнаны бөлуге жауап береді, демек келесі қандай станцияның мәлімет жөнелтетіндігіне. Ирреархияда, LLC(логикалық байланысты басқару) ішкі деңгейі MAC жоғары орналасқан. Бұл ішкі деңгейдің қызметі 802.x стандарттарының айырмашылықтарын желілік деңгейге көрсетпеу. Бұл өте жауапкершілікті есеп болу керек еді, бірақ қазіргі уақытта LLC кілтті қабат болып саналады; 802.11 кадрына да берілетін ақпарат, хаттамаларды идентификациялауға (мысалы, IP) жауап береді.

Физикалық деңгей, 1997 жылы алғаш рет пайда болғаннан кейін тасымалдаудың бірнеше жаңа тәсілдеріне ие болды. Екі алғашқы тәсіл, инфрақызыл тасымалдау (теледидарды қашықтықтан басқару пультіндегідей) және 2,4ГГц диапазонында жиілікті секірмелі түрде өзгерту режимі бүгінде қолданылмайды. Алғашқы тәсілдердің үшіншісі, 2,4ГГц диапазонындағы, 1 немесе 2 Мбит/с жылдамдықты тура тізбектелген кеңжолақтық сигнал кеңейтіліп, 11Мбит/с жылдамдықпен танымал болды. Бұл стандарт 802.11b деген атпен белгілі.



4.21-сурет. 802.11 хаттамалар стегінің бөлігі

Сымсыз желі фанаттарының үміттерін ақтап, күткен жылдамдықтарын беру үшін, 1999 және 2003 жылдары алдыңғы *2.5.3-тарауда* айтылған **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)** схемасы негізіндегі жаңа тасымалдау тәсілдері ұсынылды. Бірінші тәсіл 802.11a деп аталады және 5ГГц жиілік диапазонында жұмыс жасайды. Екіншісі үйлесімділікті қамтамасыз ету үшін, 2,4 ГГц диапазонында қалды. Ол 802.11g деп аталады. Екі тәсіл де 54 Мбит/с жылдамдықпен жұмыс жасайды.

Жақында, 2009 жылдың қазан айында, 802.11n стандарты аясында бір мезгілде

бірнеше жөнелтуші және қабылдаушы антенналарды қолданатын деректерді тасымалдау тәсілдерін құрастыру жұмысы аяқталды. Бұл да жылдамдықты арттыруға мүмкіндік береді. Төрт антеннаға және кең арналардың арқасында 802.11 стандарты енді 600 Мбит/с жылдамдықты анықтай алады.

Қазір біз осы тәсілдерге қысқаша тоқталамыз. Біз тек ескірген 802.11 стандарттарын алып тастап, тек қолданыстағы тәсілдерді қарастырамыз. Техникалық жағынан олар физикалық деңгейге жатады. *2-тарау* толығымен осы деңгейге арналған. Алайда олар ЖЕЖ және оның ішінде 802.11 стандартының ЖЕЖ-мен тығыз байланыста болғандықтан, біз оларды бұл тарауда да қарастырамыз.

4.4.2. 802.11 стандарты: физикалық деңгей

Төменде қарастырылатын деректер тасымалдау тәсілдерінің барлығы MAC деңгейінің кадрларын бір станциядан екіншісіне радиоарна арқылы тасымалдауға мүмкіндік береді. Олар қолданатын технологиялары және жылдамдықтағы жетістіктерімен ерекшеленеді. Бұл тәсілдерді егжей-тегжейлі қарастыру бұл кітап аясынан шығып кетеді, сондықтан тек қысқаша сипаттама береміз. Бұл сипаттама оқырмандарды басқа жерден толық ақпарат іздеу үшін қажет терминдермен қамтамасыз етеді деп ойлаймыз (*2.5-тарауды* да қараңыз).

802.11 стандартының барлық тәсілдері 2,4 ГГц немесе 5ГГц ISM жиілік диапазонындағы, жақын радиуста әрекеттесетін радиосигналдарды қолданады (толығырақ *2.3.3-бөлімін* қараңыз). Бұл диапазондардың артықшылығы, олар лицензиялауды қажет етпейді, сәуле тарату қуаты 1Вт шектеуді қанағаттандыратын кез келген жөнелткіштерге қолжетімді (алайда көптеген сымсыз желілерде жөнелткіштері үшін 50 МВт). Өкінішке орай, бұл факт нотбуктермен бірге, бір жиілік спекторына бәсекелес автоматты гараж есігін, сымсыз телефондар, микротолқынды пештер және басқа да көптеген құрылғылар шығарушыларға да белгілі. 2,4ГГц диапазоны, 5 ГГц қарағанда тығыз, сондықтан кейбір қосымшаларға әрекет еті радиусының аздығына қарамастан 5 ГГц-ті қолданған ыңғайлы.

Барлық тасымалдау тәсілдерінің әртүрлі жылдамдықпен анықталады. Негізгі ой, ағымдағы шартқа байланысты әртүрлі жылдамдық көрсеткіштерін қолданылу. Егер сымсыз сигнал әлсіз болса, төмен жылдамдық таңдалады. Егер сигнал жақсы болса, онда жылдамдықты жоғарылатуға болады. Мұндай түзету **жылдамдықты бейімдеу (rate adaptation)** деп аталады. Жылдамдықтар айырмашылығы бірнеше ондаған есе болғандықтан, жылдамдықты жақсы бейімдеу жақсы байланыстыру өнімділігінен де маңызды. Әрекеттесу мүмкіндігі үшін бұл міндетті емес болғандықтан, стандартта жылдамдықты қалай түзету керек екендігі айтылмайды.

Біз қарастыратын бірінші тасымалдау тәсілі – бұл **802.11b**. Бұл, 1, 2, 5,5 және 11 Мбит/с жылдамдықты қолдайтын, кеңейтілген спектор технологиясы, іс жүзінде оны үнемі жоғары деңгейде ұстауға болады. Ол, біз бұрын танысқан CDMA жүйесіне ұқсайды. Айырмашылығы, мұнда тұтынушылардың барлығы қолданатын, спекторды кеңейтудің тек бір ғана коды бар. Кеңейту, FCC-дің,

қуат ISM диапазонында таратылған болу керек, деген шартын қанағаттандыру үшін қолданылады. 201.11b стандарты үшін **Баркер тізбегі (Barker sequence)** қолданылады. Оның ерекшелігі, тізбек түзетілген жағдайдан басқа кезде автокорреляциялау төмен. Осының арқасында қабылдаушы тасымалдаудың басын камтып үлгереді. Деректерді 1 Мбит/с жылдамдықпен тасымалдау үшін Баркер тізбегі BPSK модуляциясымен араластырылады және әрбір 11 чиппен 1 бит жөнелтіледі. Чиптер 11 Мчип/с жылдамдықпен тасымалдайды. 2 Мбит/с жылдамдыққа жету үшін тізбек QPSK модуляциясымен араластырылады және әрбір 11 чиппен 2 бит жөнелтіледі. Жоғары жылдамдықтарда бәрі басқаша. Баркер тізбегінің орнына кодтарды құрастыру үшін CCK (Complementary Code Keying) -қосымша код кілттер схемасы атты техника қолданылады. 5,5 Мбит/с жылдамдықта әр 8-чиптік кодта 4 бит жөнелтіледі, ал 11 Мбит/с жылдамдықта – 8 бит.

5-гигогерцтік ISM диапазонында 54 Мбит/с жылдамдықты қолдайтын 802.11a стандартына көшейік. 802.11a 802.11b-ден бұрын пайда болды деп ойлауға болады, бірақ олай емес. 802.11a тобы ертерек жасақталғанмен 802.11b стандарты бірінші болып мақұлданды. Сәйкес өнімдер нарыққа 802.11a өнімінен ертерек шықты және тағы бір себеп, жоғарғы 5 ГГц диапазонында жұмыс жасау күрделілігі.

802.11a тәсілі **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)** технологиясына негізделген, ол спекторды тиімді қолданады және сымсыз сигналдың бұзылуына тұрақты, мысалы, көпсәулелік таралу нәтижесінде. Биттер параллель 52 тасымалдауышпен жөнелтіледі, оның 48 деректер және 4 синхронизациялау қызметін атқарады. Әр символ 4 мсм созылады және 1, 2, 4 немесе 6 биттен жөнелтіледі. Биттер қателікті түзету үшін кодталады, ол үшін ықшамдау коды қолданылады. Сондықтан тек 1/2, 2/3 немесе 3/4 бит молшылықты емес болып келеді. 802.11a әр нұсқасы жылдамдықтың 6-дан 54 Мбит/с-ке дейінгі, әртүрлі көрсеткіштерін қамтамасыз етеді. Бұл 802.11b қарағанда әлдеқайда жоғары, сонымен бірге 5 ГГц диапазонында кедергі аз. Алайда 802.11b әрекет ету радиусы 802.11a қарағанда шамамен жеті есе үлкен, көп жағдайда бұл өте маңызды.

Әрекет ету аумағының үлкендігіне қарамастан, 802.11b құрастырушылары бұл жас стандартқа жылдамдық бәсекесінде жеңіске жол бермеді. 2002 жылдың мамыр айында FCC, АҚШ-да ISM диапазонында жұмыс жасайтын барлық сымсыз коммуникация құрылғылары спекторды кеңейтуді қолдануы тиіс деген ережені алып тастады. Нәтижесінде 802.11g жұмысы басталды – бұл стандартты 2003 жылы IEEE комитеті мақұлдады. Стандарт 802.11a стандартының OFDM модуляциялау тәсілін қайталайды, бірақ 802.11b-мен бірге ISM 2,4 Гц шектеулі диапазонында қолданылады. Ол 802.11a тәрізді 6-дан 54 Мбит/с дейінгі жылдамдықты ұсынады және айналасындағы 802.11b стандартының кез келген құрылғысымен үйлесімдікті қамтамасыз етеді. Осындай ерекшеліктердің барлығы қарапайым тұтынушыны шатастырады, сондықтан өнімдер бір платада 802.11a/b/g қолдайды.

Қол жеткізген жетістіктерде тоқтап қалмай, IEEE комитеті, жоғары өткізгіштік жылдамдықпен сипатталатын, 802.11n физикалық деңгейімен жұмысты бастады. Ол 2009 жылы мақұлданды. 802.11n мақсаты – сымсыз байланыстың барлық үстеме шығындарын жойып, 100 Мбит/с кем емес өткізгіштік жылдамдықты

қамтамасыз ету. Бұл үшін базалық жылдамдықты, кем дегенде төрт есе өсіру қажет. Комитет арна енін 20-дан 40 МГц-ке дейін екі есе өсірді және бір топ қадырды бірге жөнелтуге рұқсат беріп, кадрларды жөнелтудің үстеме шығындарын төмендетті. Тағы бір маңызды мәселе, 802.11n стандартында төрт ақпарат ағынын бір мезгілде жөнелту үшін төрт антенна қолдану қарастырылған. Ағындар сигналы қабылдаушы жақта араласады, бірақ оларды коммуникациялық **MIMO (Multiple Input Multiple Output) – бірнеше кіріс – бірнеше шығыс** техникасы арқылы бөлуге болады. Бірнеше антеннаның болуы жылдамдықтан үлкен ұтыс береді немесе үлкен әрекет ету радиус және сенімділікті жоғарылату. MIMO, OFDM тәрізді сымсыз желілердің дизайнын түбегейлі өзгертетін коммуникациялық шешімдердің бірі, біз бұл жайлы болашақта да жиі еститін боламыз. 802.11 стандартында бірнеше антеннаны қолдану техникасының сипаттамасын (Halperin және басқалар, 2010) басылымынан қараңыз.

4.4.3. 802.11 стандарты: ортаға қол жеткізуді басқару ішкі деңгейінің хаттамасы

Электротехника саласынан компьютерлік ғылым саласына оралайық. MAC ішкі деңгейінің хаттамасы (ескертейік, MAC – Medium Access Control – ортаға қолжеткізуді басқару) 802.11 стандартында, сымсыз деректер алмасуға тиесілі екі фундаменталды факторға байланысты, Ethernet-тегі сәйкес хаттамадан әлдеқайда өзгеше.

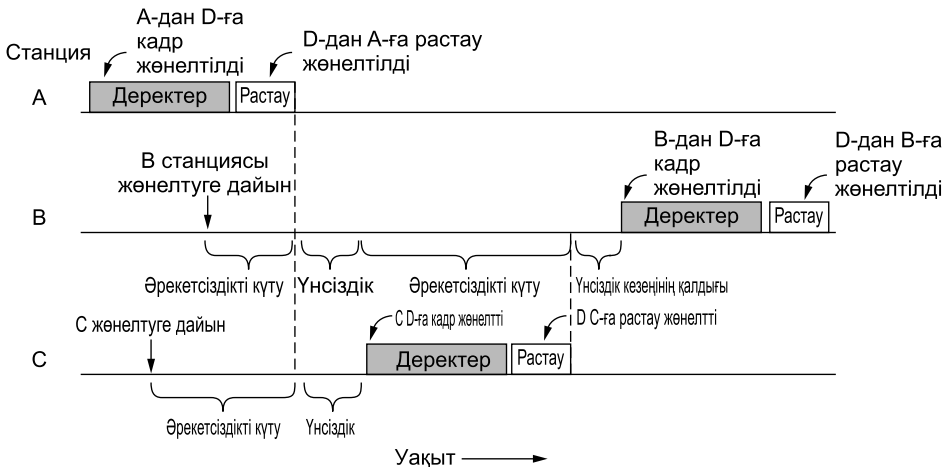
Біріншіден, радиожөнелткіштер үнемі жартылай дуплексті режимде жұмыс жасайды. Бұл олардың бір жиілікте, бір мезгілде сигналдар тасымалдап және шу таралуын тыңдай алмайтындығын білдіреді. Қабылданатын сигнал жөнелтілетін сигналға қарағанда миллиондаған есе әлсіз болуы және ол естілмеуі мүмкін. Ethernet-те станция кналда тыныштық орнағанын күтеді, тек содан кейін тасымалдауды бастайды. Егер шу таралуы 64 байты тасымалдауға қажет уақыт аралығында қайтып оралмаса, кадрдың дәл жеткізілгендігі жайлы айтуға болады. Сымсыз желілерде мұндай, қайшылықтарды анықтау механизмі жұмыс жасамайды.

Мұның орнына 802.11 **CSMA/CA (CSMA with Collision avoidance, CSMA қайшылықтарды болдырмаумен бірге)** хаттамасының негізінде қайшылықтарды болдырмауға тырысады. Бұл хаттама тұжырымдамасы Ethernet-ке арналған CSMA/CD тұжырымдамасына ұқсас. Мұнда, жөнелту алдында арна тыңдалады, ал қайшылықтан кейінгі үнсіздік кезеңі экспоненциалды түрде есептеледі. Алайда егер станцияның жөнелтетін кадры бар болса, онда ол циклды кездейсоқ ұзындықты үнсіздік кезеңінен бастайды (тек арна көп уақыт қолданылмай, әрекетсіз тұрған жағдайдан басқа кезде). Станция қайшылықтарды күтпейді. OFDM физикалық деңгейі жағдайында, оның үнсіз тұрған слоттар саны, мысалы 0-ден 15-ке дейінгі диапазон аралығында таңдалады. Станция арнаның әрекетсіздігін қысқа уақыт кезеңінде (DIFS деп аталатын, бұл жайлы төменде сөз болады) күтіп, әрекетсіздік слоттарын санайды. Санау кадрлар жөнелту кезінде тоқталады. Өз кадрын сана-

уыш нөлге жеткен кезде жөнелтеді. Егер кадр ойдағыдай өтсе, онда адресат дер кезінде қысқаша растауды кері жібереді. Егер растау келмесе, қателік кетті деген қорытынды жасалады – қайшылық немесе басқа қателік. Бұл жағдайда жөнелтуші үнсіздік кезеңін екі еселеп, кадр ойдағыдай берілгенше немесе қайталаудың ең үлкен санына жеткенше, үнсіздік ұзындығын экспоненциалды өсіріп (Ethernet-тегідей), жөнелтуге қайта әрекет жасайды.

Кейбір уақыт шкаласының мысалы *4.22-суретте* келтірілген. А станциясы кадрды бірінші болып жөнелтеді. А станциясы жөнелтумен айналысып жатқан кезде, В және С станциялары жөнелтуге дайындық режиміне көшеді. Олар арнаның бос емес екендігін көріп, арнаның әрекетсіздігін күтеді. А станциясы растау алғаннан кейін арна әрекетсіздікке көшеді. Алайда, бірден кадр жөнелтудің орнына (бұл қайшылыққа әкелер еді), В және С станциялары өздерінің үнсіздік кезеңін бастайды. С станциясы қысқа үнсіздік кезеңін таңдайды, сондықтан ол деректерді бірінші болып жөнелтеді. В станциясы, арнаның С станциясымен айналысып жатқанын көргеннен кейін, кері санауды тоқтатып, тек С станциясы растау алғаннан кейін қайта бастайды. Көп кешікпей В станциясының үнсіздік кезеңі аяқталады, ол да кадр жөнелтеді.

Ethernet-пен салыстырғанда бұл жерде екі ерекшелік бар. Біріншіден, үнсіздік кезеңінің ертерек басталуы қайшылықтарды болдырмауға көмектеседі. Бұл өте маңызды артықшылық, себебі қақтығыстар болған жағдайда да, кадр толығымен жөнелтілетін болғандықтан, қайшылықтар өте қымбат болып келеді. Екіншіден, станциялар, байқап білу мүмкін емес қайшылықтар болғандығын «аңғарғанша» растау схемасы қолданылады.



4.22-сурет. CSMA/CD хаттамаларымен кадр жөнелту

Мұндай жұмыс режимі **DCF (Distributed Coordination Function, таратылған координациялау)** деп аталады. Барлық станциялар тәуелсіз әрекет етеді,

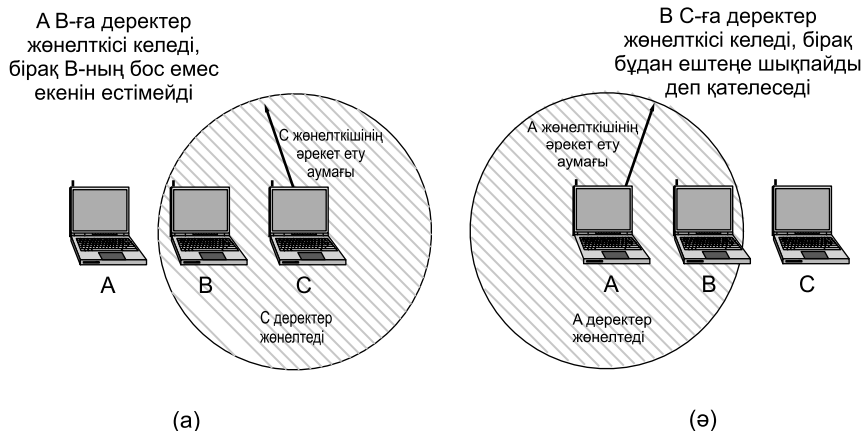
орталықтан бақыланбайды. Стандартқа сонымен бірге міндетті емес **PCF (Point Coordination Function, шоғырланған координация)** режимі кіргізілген, ұяшықтағы барлық іс-әрекетті қол жеткізу нүктесі басқарады – ұялы желінің базалық станциясы тәрізді. Алайда, PCF тәжірибеде қолданылмайды, сондықтан көршілес желі станцияларына бәсекелес трафикті жөнелтуге тиым салу мүмкін емес.

Екінші мәселе, әртүрлі станциялардың тасымалдау аумағының сәйкес келуі міндетті емес. Кабельдік желіде жүйедегі барлық станциялар бір-бірін тыңдай алатындай етіліп жобаланған. Радиосигналдарды тасымалдаудың күрделілігі сымсыз станциялар үшін мұндай тұрақтылықты қамтамасыз етуге мүмкіндік бермейді. Демек, жасырын станция мәселесінің туындауы мүмкін, біз бұл жайлы ертеректе айтқанбыз, қазір *4.23 а-суретінде* иллюстрация келтіріп отырмыз. Барлық станциялар бір-бірін тыңдай алатын болғандықтан, ұяшықтың бір бөлігімен жөнелтілген ақпарат, келесі бөлігінде орналасқан станциямен қабылданбауы мүмкін. Суретте келтірілген мысалда, С станциясы В станциясына деректер жөнелтеді. Егер А станциясы арнаны тыңдаса, ол ештеңеден күдіктенбейді және В станциясына деректер жөнелтуді бастауға құқығы бар деп жалған қорытынды жасайды. Бұл шешім қақтығысқа әкеледі.

Бұдан басқа, *4.23 ә-суретінде* көрсетілген кері мәселе бар. Мұнда В станциясы С станциясына деректер жөнелту үшін арнаны тыңдайды. Арнада қандай да бір тасымалдаудың болып жатқанын естіп, В станциясы С үшін жөнелту мүмкін емес деп, жалған қорытынды жасайды. Дәл осы кезде, В станциясын әбігерге салған А станциясы – сигнал көзі, іс жүзінде D станциясына (суретте көрсетілмеген) деректер жөнелтуі мүмкін. Сонымен, ақпарат тасымалдау мүмкіндігі жоғалады.

Қандай станцияның деректер жөнелтетіндігі жайлы түсініспеушілікті шешу үшін, 802.11 стандартында арнаны тыңдау физикалық және виртуалдық деңгейлерде анықталады. Физикалық тыңдау кезінде орта сигналдың бар екендігіне тексеріледі. Виртуалды тыңдауда, әр станция **NAV (Network Allocation Vector, желіні бөлу векторы)** бақылай отырып, арнаны қолданудың логикалық журналын жүргізеді. Әр кадрдың, осы кадрды қоса алғанда, тізбектің тасымалдану ұзақтығы көрсетілген, NAV өрісі бар. Кадрды естіген станциялар, физикалық сигналдың жоқтығына қарамастан, арнаның NAV өрісінде көрсетілген кезең аралығында бос болмайтындығын түсінеді. Мысалы, деректер кадрына арналған NAV-да растауды жөнелтуге қажет уақытта есепке алынған. Осы деректер кадрын естіген станциялардың барлығы, оны нақты арнадан естіген естімегеніне қарамастан, растауды жөнелту кезеңі аралығында деректер тасымалдаудан бас тартады.

Міндетті емес RTS/CTS механизмі NAV көмегімен станцияларға жасырын станциямен бірге кадрлар тасымалдауға тыйым салады. Мысал *4.24-суретте* көрсетілген. Бұл мысалда, А станциясы В станциясына деректер жөнелтеді. С станциясы А-ның әрекет ету аумағында орналасқан (демек, естиді), сонымен бірге В-ның да әрекет ету аумағында болуы мүмкін, алайда бұл маңызды емес. D станциясы В-ның әрекет аумағына кіреді, бірақ А-ның әрекет аумағына кірмейді.



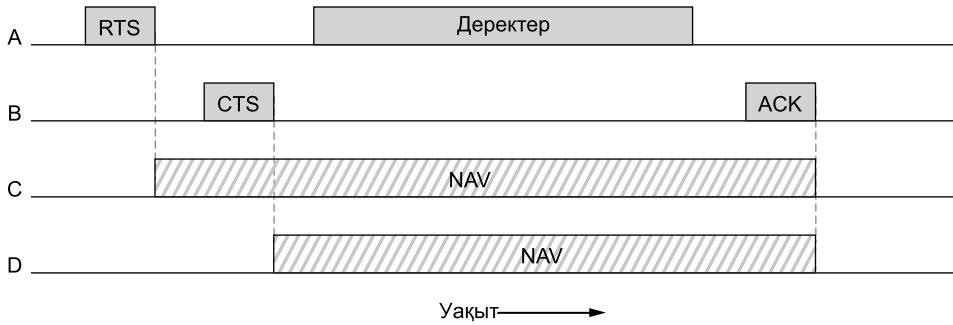
4.23-сурет. а – жасырын станция; б – көрінген станция мәселесі

Хаттама, А станциясы В станциясына деректер жөнелту керек деп шешкен кезде жұмыс жасайды. А станциясы В станциясына RTS кадрын жөнелтіп, тасымалдауға рұқсат сұрайды. Егер В деректерді қабылдай алатын болса, онда ол арна таза деп, растау ретінде CTS кадрын кері жөнелтеді. А станциясы CTS қабылдағаннан кейін кадрды жөнелтіп, АСК таймерін іске қосады. Деректер дұрыс қабылданса, В тасымалдауды аяқтайтын АСК кадрын генерациялайды. Егер А станциясындағы таймер уақыт аралығы, АСК қабылданғанша аяқталса, онда қайшылықтар туындайды деп саналады да, хаттаманың жұмыс алгоритмі үнсіздік кезеңінен кейінгі уақыттан бастап қайта қайталады.

Енді, дәл осы үрдісті С және D станциялар тұрғысынан қарастырайық. С станциясы А-ның әрекет ету аумағында орналасқан, сондықтан ол да RTS кадрын қабылдайды және жақын арада арна арқылы қандай да бір деректердің тасымалданатынын түсінеді. RTS кадрындағы ақпаратқа сүйене отырып, С станциясы тізбекті тасымалдаудың соңғы АСК қоса алғанда неше уақыт алатынын жорамалдай алады. Сондықтан басқаларға кедергі жасамас үшін ол мәлімет алмасу аяқталғанша тасымалдаудан бас тартады. Ол үшін өзінің NAV өрісіндегі жазбасын, 4.24-суретте көрсетілгендей, арна бос емес деп өзгертеді. D станциясы RTS кадрын естімейді, бірақ CTS кадрын естиді және ол да NAV-ын іске қосады. Назар аударыңыз: NAV сигналы тасымалданбайды, ол тек станцияның белгілі бір уақыт аралығында үнсіздік сақтау керек екендігі жайлы ішкі ескертпесі болып келеді.

Алайда, RTS/CTS модельінің теориялық жағынан әдемілігіне қарамастан, іс жүзінде жүзеге аспады. Оның сирек қолданылуының бірнеше себебі бар. Ол қысқа кадрларға (RTS орнына жөнелтілетін) және қол жеткізу нүктелерінің (анықтама бойынша ол барлығына естілуі тиіс) болуына арналмаған. Басқа жағдайларда да ол жұмысты баяулатады. 802.11 стандартындағы RTS/CTS біз 4.2-бөлімде танысқан MACA хаттамасынан біршама ерекше. Сондықтан RTS немесе CTS алған әр станция, белгілі бір уақыт аралығында, АСК растауы арна бойымен қайшылықсыз өту

үшін үнсіздік сақтайды. Осы себептен, көрінген станция мәселесі MACA хаттамасын қолданғандай шешілмейді, тек жасырын станциялар мәселесі жойылады. Жасырын станциялар сирек кездеседі және CSMA/CA оларға онсыз да көмектеседі. Бұл технология, қандай да бір себептермен деректерді ойдағыдай тасымалдай алмаған станциялар жұмысын баяулатады.



4.24-сурет. CSMA/CA хаттамасында арнаны виртуалды тындауды қолдану

Физикалық және виртуалдық тындауы бар CSMA/CA 802.11 хаттамасының негізін құрайды. Алайда, осы хаттама үшін құрастырылған бірнеше басқа механизмдер де бар. Механизмдердің әрқайсысы нақты шарттармен байланысты белгілі бір қажеттілік себебінен туындаған.

Бірінші қажеттілік – бұл сенімділік. Сымды арналарға қарама-қарсы, сымсыз арналар шулы және сенімсіз. Белгілі бір дәрежеде, бұл ISM жиілігінде жұмыс жасайтын ЖЖ-пештер тәрізді құрылғылар себебінен. Егер кадрды жөнелту ықтималдығы төмен болса, растауды және қайталап тасымалдауды қолдану көмектеспейді.

Сәтті өткен тасымалдаулар санын ұлғайтудың негізгі стратегиясы – тасымалдау жылдамдығын төмендету. Төмен жылдамдықтар, сигнал шу қатынасы үшін дұрыс қабылдау ықтималдығы жоғары, сигналдарды модуляциялаудың мықты тәсілдерін қолданады. Егер жоғалған кадрлар саны көп болса, станция жылдамдықты төмендеті алады. Егер жоғалған кадрлар аз болса, станция кейде қолдануға болатындығын анықтау үшін, жылдамдықты жоғарлатып көре алады.

Кадрдың бұзылмай жету мүмкіндігін арттырудың басқа бір стратегиясы – әлдеқайда қысқа кадрлар жөнелту. Егер бір биттегі қателік ықтималдығы p -ға тең болса, онда n биттік кадрдың дұрыс қабылдану ықтималдығы $(1 - p)^n$ тең. Мысалы, $p = 10^{-n}$ үшін ұзындығы 12 144 бит толық Ethernet кадрын дұрыс тасымалдану ықтималдығы 30% құрайды. Кадрдың көп бөлігі жоғалады. Ал егер кадр ұзындығы оның үштен бір бөлігін құраса (4048 бит), онда оның үштен екі бөлігі дұрыс қабылданады. Енді кадрдың үлкен бөлігі дұрыс өтеді және тасымалдауды қайталау аз болады.

Қысқа кадрларды пайдалануды, желілік деңгейде қабылданатын, мәлімдеменің

ең үлкен өлшемін қысқарту арқылы жүзеге асыруға болады. Екінші тұстан, 802.11 кадрларды әрқайсысының өз бақылау қосындысы бар **фрагменттер (fragments)** деп аталатын кішігірім бөліктерге бөлуге мүмкіндік береді. Фрагменттің мөлшері бекітілмеген, ол қол жеткізу нүктесі түзететін параметр болып келеді. Фрагменттер нөмірленіп, күтуі бар хаттаманы (демек, жөнелтуші k кадрына растау алмайынша $k+1$ кадрын жөнелте алмайды) пайдалану арқылы жеке-жеке расталады. Олар, барлық кадр толығымен сәтті жеткізілгенше немесе тасымалдау уақыты рұқсат етілген ең үлкен шегіне жеткенше, бірінің артынан бірі растаумен (қайта тасымалдану мүмкін) жүреді. NAV механизмі станцияларды жеткізу жайлы бірінші растау келгенше ғана жөнелтуден шектеп отырады. Алайда, қабылдаушыға арасында басқа станциялардан кадрлар қабылдамай, бір станция фрагменттерінің барлығын толығымен қабылдауға мүмкіндік беретін басқа да механизм бар (ол төменде сипатталған).

Біз талқылайтын екінші қажеттілік – энергияны үнемдеу. Мобильдік сымсыз құрылғылардың аккумулятордан жұмыс жасау уақыты әрқашан да назар аударуды талап ететін мәселе болып келеді. 802.11 стандарты, клиенттердің жөнелтетін немесе қабылдайтын ақпараты жоқ кезде энергияны бекер шығындамайтындай, электрлік қоректендіруді басқару мәселесіне назар аударып келеді.

Энергияны үнемдеудің негізгі механизмі **«маяк» кадрларға (beacon frames)** негізделген. Бұл қол жеткізу нүктесінің кезеңді кеңтаратылымды мәлімдемесі (мысалы, әр 100 мс сайын). Маяк кадрлар клиенттерге қол жеткізу нүктесінің бар екендігі және идентификатор, уақыт, келесі маяк кезеңі, қауіпсіздік баптаулары тәрізді жүйелік параметрлерді мәлімдейді.

Клиенттер, қол жеткізу нүктесіне өздерінің **энергияны үнемдеу режиміне (power-save mode)** көшкендігі жайлы хабарлау үшін кадрларға электрлік қоректенуді басқару битін орналастыра алады. Бұл режимде клиент мүлги алады, ал қол жеткізу нүктесі оған арналған трафиктерді буферге орналастырады. Кіріс трафиінің бар екендігін тексеру үшін, клиент әр маяк үшін ұйқыдан оянып, маяқтың бөлігі ретінде жіберілген трафик картасын тексереді. Бұл карта клиентке буферде трафиктің бар екендігі жайлы хабарлайды. Егер ол бар болса, онда клиент қол жеткізу нүктесіне сұрастыру мәлімдемесін жібереді, ал қол жеткізу нүктесі буфердегі трафикті жібереді. Бұдан кейін клиент келесі маякқа дейін қайтадан ұйқы режиміне көше алады.

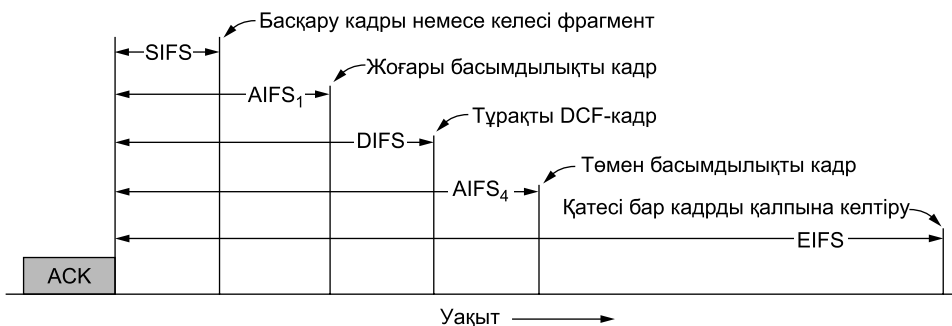
2005 жылы 802.11 стандартына басқа энергия үнемдеуші механизм қосылды. Бұл механизм **APSD (Automatic Power Save Delivery – энергия сақтау режиміне автоматты көшу)** деп аталады. Бұл жаңа механизммен қол жеткізу нүктесі кадрларды буферлеп, клиент қол жеткізу нүктесіне кадр жібергеннен кейін бірден клиентке жөнелтеді. Клиент өзінде жөнелтетін (қабылдайтын) үлкен трафик жоқ болса, ұйқыға кетуі мүмкін. Бұл механизм, екі бағытта да жиі трафиктері бар, IP-телефония тәрізді қосымшаларда жақсы жұмыс жасайды. Мысалы, сымсыз IP-телефон, әр 20 мс сайын кадр жөнелту және қабылдау үшін осы механизмді пайдаланып, арасында ұйқы режимінде бола алар еді. Бұл маяк кезеңінен (100 мс) әлдеқайда жиі.

Біз зерттейтін үшінші және соңғы қажеттілік – қызмет көрсету сапасы. Алдыңғы мысалдағы, IP-телефония трафигі, ЖЕЖ-нің тең құқылы түйіндерімен бәсекелескен кезде, IP-телефония ұтылып қалады. Жоғары өткізгіштік қабілетті, ЖЕЖ-нің тең құқылы түйіндерінің трафигімен байланыс кезінде IP-телефония өткізгіштік қабілетінің төмендігіне қарамастан шектеледі. Бұл кідірістер дыбыстық шақырылымдарды нашарлатады. Осы дыбыстық шақырылымдардың нашарлауының алдын алу үшін IP-телефония трафигіне ЖЕЖ-нің тең құқылы түйіндерінің байланысының алдында жүруге мүмкіндік беру керек.

IEEE 802.11-да осы қызмет көрсету сапасын қамтамасыз ететін ақылды механизм бар. Механизм 2005 жылы кеңейтілімдер жиынтығы ретінде 802.11e деген атпен енгізілді. Ол CSMA/CA хаттамасын кеңейтіп, кадрлар арасындағы мұқият жасалған интервалмен жұмыс жасайды. Кадр жөнелтілгеннен кейін, басқа кез келген станция кадр жіберу үшін, арнаның бос екендігін тексеруге белгілі бір тыныштық уақыты қажет. Бұл айла әртүрлі кадрлар үшін, әртүрлі уақыт интервалын анықтауға қажет.

4.25-суретте бес интервал бейнеленген. Тұрақты деректер кадрлары арасындағы интервал **DIFS (DCF InterFrame Spacing) – DCF кадр аралық интервалы деп аталады**. Кез келген станция орта DIFS үшін белсенді емес болғаннан кейін жаңа кадр жөнелту үшін арнаны алып қалуға тырысады. Мұнда, қақтығыс кезіндегі екілік экспоненциалды ұстамдылықты қоса алғанда, қарапайым тартыс ережесі қолданылады.

Ең қысқа интервал – бұл **SIFS (Short InterFrame Interval) – кадр аралық қысқа интервал**. Ол сұхбаттасушы екі жақтың біреуі бірінші болып бастауға мүмкіндік алу үшін қолданылады. Мысалдар қабылдаушыға ACK жөнелтуге және басқа да RTS, CTS тәрізді басқарушы кадрлар тізбегін немесе дестелер фрагментін жөнелтуге рұқсат береді. Тек SIFS-ды күткеннен кейін келесі фрагментті жөнелту, басқа станцияның кадрлар алмасу ортасында кірісуіне кедергі жасайды.



4.25-сурет. 802.11 стандартындағы кадр аралық интервал

Екі AIFS (Arbitration InterFrame Space – кадр аралық арбитраждық интервал) интервалы екі түрлі басымдық деңгейінің мысалын көрсетеді. AIFS₁ қысқа ин-

тервалы DIFS интервалынан қысқалау, бірақ SIFS интервалынан ұзындау. Ол қол жеткізу нүктесімен дыбыс немесе басқа да үстемелік трафикті кезек алдына орналастыру үшін қолданылады. Қол жеткізу нүктесі дыбыстық трафикі жөнелту үшін қысқа интервалды күтеді, сөйтіп ол оны жүйелі трафиктен ертерек жөнелтеді. Ұзын AIFS₄ трафигі DIFS трафиінен үлкен. Ол, тұрақты трафик аяқталғанша ұсталатын фондық трафик үшін қолданылады. Бұл трафикті жөнелтпес бұрын қол жеткізу нүктесі алдымен тұрақты трафикті жөнелтуге мүмкіндік беру үшін, ұзынырақ интервал уақытында күтеді. Қызмет көрсету сапасының толық механизмі, әртүрлі төрт үстемелік деңгейді анықтайды. Олардың әрқайсының әртүрлі ұстамдылық және күту уақыты параметрлері бар.

Соңғы уақыттық интервал **EIFS (Extended InterFrame Spacing)** – кеңейтілген кадр аралық интервал деп аталады. Ол тек бүлінген немесе анықталмаған кадр алып, сол мәселе жайлы мәлімдеме бермек болған станциямен қолданылады. Мұндағы негізгі ой, қабылдауыш бірден түсінбеуі мүмкін, сондықтан өзінің ашынған дауысымен станциялар арасындағы сұқбатты үзіп жібермес үшін оған қандай да бір интервал аралығында күте тұру қажет.

Кеңейтілімнің келесі бөлігі, қызмет көрсету сапасын арттыру – **тасымалдау мүмкіндіктері (transmission opportunity)** түсінігі немесе **ТХОР**. Алғашқы CSMA/CA механизмі бір рет бір кадр жіберуге мүмкіндік берген. Жылдамдық диапазоны ұлғайғанша бұл схема тамаша еді. 802.11a/g-де бір станция кадрларды 6 Мбит/с, ал келесісі 54 Мбит/с жылдамдықпен тасымалдай алар еді. Олардың әрқайсысына бір кадр жөнелту керек, бірақ бірінші станцияға өз кадрын жөнелту үшін екіншіге қарағанда 9 есе (тұрақты үстеме шығындарды есептегенде) көп уақыт қажет. Бұл теңсіздіктің, баяу жөнелтушімен бәсекелес жылдам жөнелтуші жылдамдығын баяу жөнелтуші жылдамдығына дейін төмендететін жағымсыз қосалқы эффекеті бар. Мысалы, тағы да тұрақты үстеме шығындарды есепке алмай, жөнелтушілер жеке-жеке жұмыс жасай отырып, өздерінің 6 Мбит/с және 54 Мбит/с жылдамдықтарын жүзеге асырар еді. Бірге жұмыс жасағанда олардың әрқайсысы орта есеппен 5,4 Мбит/с жылдамдық алады. Бұл жылдам жөнелтуші үшін үлкен жайсыздық. Бұл мәселе, **жылдамдық ауытқушылығы (rate anomaly)** деген атпен белгілі (Heusse және басқалар, 2003).

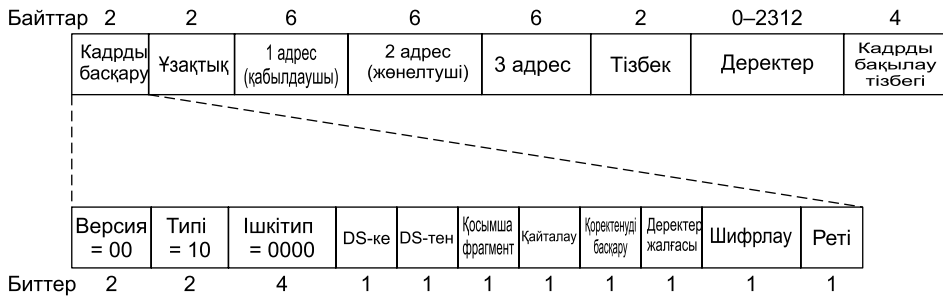
ТХОР-ін қолданғанда әрбір станция, бірдей кадрлар санын емес, бірдей тиімді уақыт санын алады. Жоғары жылдамдықта жөнелтетін станциялар, өздерінің эфирлік уақыты кезінде, жоғары өткізгіштік қабілет алады. Біздің мысалымызда, 6 және 54 Мбит/с жылдамдықпен бірге жұмыс жасайтын жөнелтушілер енді сәйкесінше 3 және 27 Мбит/с жылдамдыққа жетеді.

4.4.4. 802.11 стандарты: кадр құрылымы

802.11 стандарты радиоарна арқылы тасымалданатын кадрлардың үш класс анықтайды: ақпараттық, қызметтік және басқарушы. Олардың барлығының MAC ішкі деңгейі пайдаланатын бірнеше өрістерден тұратын тақырыптары бар. Соны-

мен бірге, физикалық деңгей қолданатын өрістері бар, бірақ олар модуляциялау тәсілдеріне жатады, сондықтан біз оларды мұнда қарастырмаймыз.

Мысал ретінде біз ақпараттық кадр форматын қарастырамыз. Ол 4.26-суретте көрсетілген. Бастапқыда *Кадрды басқару* (Frame Control) өрісі жүреді. Оның 11 кіріктірілген өрісі бар. Біріншісі – *Хаттама версиясы*, 00 (2бит) орнатылған. Нақты осы өріс 802.11-стандартының болашақ версияларына бір мезгілде желінің бір ұяшығында жұмыс жасауға мүмкіндік береді. Кеселі өріс Тип өрісі (ақпараттық, қызметтік немесе басқарушы) және Ішкітип (мысалы, RTS немесе CTS). Қарапайым кадр үшін (қызмет көрсету сапасы көрсетілмеген жағдайда) оларда бинарлық ретінде 10 және 0000 орнатылған. DS-қа және DS-тен биттері кадр қозғалысының бағытын білдіреді: таратылған жүйе (distribution system) деп аталатын қол жеткізу нүктесімен байланысқан желіге немесе желіден. Қосымша фрагменттер биті, ары қарай тағы бір фрагменттің бар екендігі жайлы хабарлайды. Қоректенуді басқару битін жөнелтуші-станция өзінің төмендетілген энергия тұтыну режиміне көшкені немесе бұл режимнен шыққандығы жайлы хабарлау үшін қолданады. Жалғасы биті жөнелтушінің тағы да тасымалдайтын кадрларының бар екендігі жайлы хабарлайды. Шифрлау биті кадр денесінде шифрлауды қолданудың индикаторы болып саналады. Соңында, орнатылған Рет биті, қабылдаушыға осы биті бар кадрлар дәлме-дәл ретімен өңделуі қажет екендігі жайлы хабарлайды.



4.26-сурет. 802.11 стандартының ақпараттық кадры

Ақпараттық кадрдың екінші негізгі өрісі – Ұзақтық өрісі. Мұнда кадрды және растауды тасымалдауға жұмсалатын уақыт микросекундпен беріледі. Бұл өріс кадрлардың барлық типінде, сонымен бірге қызметтік кадрларда да бар және нақты осыған сәйкес станциялар NAV қояды.

Ары қарай адрестер келтірілген. Деректер кадрында IEEE 802 стандартына сәйкес үш форматтағы адрес бар. Жөнелтуші және қабылдаушы адресінің қажет екендігі түсінікті, ал үшіншісінде не жазылған?

Қол жеткізу нүктесі кадрларды, клиенттер және желінің басқа нүктесі арасында, мүмкін қашықтағы клиент немесе интернет-портал арасында, жылжығанды жай ғана ретрансляциялау пункті екенін есте сақтаңыздар. Үшінші адрес – осы қашықтықтағы соңғы нүкте адресі.

Тізбек өрісі дубликаттарды анықтау үшін фрагменттерді нөмірлеуге мүмкіндік береді. Қолжетімді 16 биттің 4-і фрагменттерді теңдестіру, ал 12-сі әрбір жаңа тасымалдаумен өсіп отыратын сан.

Деректер өрісі арна бойымен тасымалданатын деректерден тұрады. Оның ұзындығы 2312 байтқа дейін жетеді. Осы пайдалы жүктеменің алғашқы байттары **LLC (логикалық байланысты басқару ішкі деңгейі)** деген атпен белгілі форматта жазылады. Бұл деңгей, пайдалы жүктемені жолдатын жоғарғы деңгей хаттамасын (мысалы, IP) теңдестіретін, байланыстырушы элемент.

Соңында, әдеттегідей Кадрды бақылау тізбегі өрісі орналасқан. Бұл біз 3.2.2-бөлімде және басқа жерлерде де қарастырған 32 биттік CRC.

Басқарушы кадрлар форматы да ақпараттық кадрлар форматындай. Деректер бөлімі форматы ішкі тип форматына байланысты (мысалы, «маяк» кадрларындағы параметрлер) өзгеріп отырады.

Қызмет кадрлар қысқа. Басқа кадрлардағыдай, оларда Кадрды басқару, Ұзақтық және Кадрды бақылау тізбегі бар. Оларда тек бір ғана адрес бар және Деректер өрісі жоқ. Мұнда ең негізгісі, Ішкітип өрісінде жазылған ақпарат (RTS, CTS немесе ACK) болып саналады.

4.4.5. Қызметтер

802.11 стандарты, клиенттер, қол жеткізу нүктелері және оларды байланыстырушы жерілер, сымсыз ЖЕЖ арқылы келісілген болу үшін қызмет түрлерін анықтайды. Оларды бірнеше категорияға бөлуге болады.

Бірлесу (association). Бұл қызмет түрін мобильдік станциялар қол жеткізу нүктелерімен байланысу үшін пайдаланады. Әдетте ол, қол жеткізу нүктесінің әрекет ету аумағына кірген кезде бірден қолданылады. Келіп жеткен кезде, станция теңдестіру ақпаратын және қол жеткізу нүктесінің мүмкіндіктерін, маяк кадрлардан немесе тікелей қол жеткізу нүктесінен сұрап біледі. Қол жеткізу нүктелерінің мүмкіндіктері: қолдайтын деректер тасымалдау жылдамдығынан, қауіпсіздік өлшемінен, энергия сақтау мүмкіндігі, қызмет көрсету сапасына және т.б. тұрады. Мобильдік станция қол жеткізу нүктесімен бірлесуге сұраныс жібереді. Қол жеткізу нүктесі сұранысты қабылдауы немесе шектетіп тастауы мүмкін.

Қайтабірлесу (reassociation) станциялардың қол жеткізу нүктесін ауыстыруына мүмкіндік береді. Бұл мүмкіндік, ұялы желідегі тасымалдау тәрізді, 802.11 ЖЕЖ-нің кеңейтілімінде станция бір қол жеткізу нүктесінен екінші қол жеткізу нүктесіне ауысқан кезінде пайдалы. Егер ол ойдағыдай өтсе, онда ауысу кезінде ешбір дерек жоғалмайды. (Алайда, Ethernet желісіндегідей, 802.11 стандартында барлық қызмет түрлерін орындауға мүмкіндігінше күш салынады, бірақ кепілдік берілмейді.) Мобильдік станция немесе қол жеткізу нүктесі тарапынан **бірлестіктіктен шығу (disassociate)**, қарым-қатынасты тоқтату орын алуы мүмкін. Бұл станцияны өшіргенде немесе қол жеткізу нүктесінің әрекет аумағынан

шыққан кезде қажет. Қол жеткізу нүктесі де бірлестіктіктен шығу бастаушысы болуы мүмкін, мысалы, ол уақытша техникалық қызмет көрсетуге көшкен кезде.

Станциялар қол жеткізу нүктелері арқылы кадрлар жібермес бұрын, олар **аутентификация (authenticate)** өтулері қажет. Қауіпсіздік схемасының таңдалуына байланысты аутентификация әрқалай өтуі мүмкін. Егер 802.11 желісі «ашық» болса, онда оны қалауынша қолдануға рұқсат етіледі. Егер «ашық» болмаса, аутентификация үшін есепке алу жазбасының параметрлері қажет. Ұсынылған схема, **WPA2 (WiFi Protected Access 2) – WiFi қорғалған қол жеткізу 2** деп аталады. Ол 802.11 стандартында анықталған қауіпсіздікті қамтамасыз етеді. (Қарапайым WPA, 802.11i ішкі жиыны қамтамасыз ететін уақытша схема. Біз оны қарастырмай, бірден толық схемаға көшеміз.) WPA2-мен қол жеткізу нүктесі, станцияға желіге қол жеткізуге рұқсат берілгендігін анықтау үшін, көптеген тұтынушы аты және парольдер деректер қоры бар аутентификация серверімен әрекеттесе алады. Немесе желілік парольдің ерекше аты болып саналатын, алдын ала орнатылған кілт (pre shared key) құрастыруға болады. Сұранысы және жауабы бар бірнеше кадрлар станция және қол жеткізу нүктелері арасында тасымалданады. Бұл станцияға дұрыс есепке алу жазбасының бар екендігін дәлелдеуге мүмкіндік береді. Алмасу бірлестік орнатылғаннан кейін жүргізіледі.

WPA-ға дейін қолданылған схема **WEP (Wired Equivalent Privacy) – сымды байланыс деңгейіндегі жекешелік** деп аталады. Бұл схема үшін алдын ала орнатылған кілтпен аутентификация бірлесу алдында орындалады. Алайда, WEP-ті жеңіл бұзылатын ететін құрастырудағы кемшілікке байланысты, оның пайдасы көп емес. WEP-ті бұзудың алғашқы тәжірибелік көрсетілімі, Адам Стабблефилд AT&T-де (Stubblefield және басқалар, 2002) жаздық машықтанушы болып жүргенде орын алды. Ол бір жетіде код жазып, шабуылды тексеріп шықты. Уақыттың көбі, тәжірибеге қажет WiFi картасын сатып алуға, әкімшілік рұқсат алуға кетті. WEP парольдерін бұзу программалық жабдықтамасына қазір еркін қол жеткізуге болады.

Кадрлар қол жеткізу нүктесіне жеткен кезде, **тарату қызметі (distribution service)** олардың маршруттарын анықтайды. Егер тағайындау адресі осы қол жеткізу нүктесі үшін жергілікті болса, онда кадрлар тікелей радиоарна бойымен жүреді. Кері жағдайда, оларды сымды желі бойымен жіберу қажет.

Біріктіру қызметі (integration service), егер кадрды 802.11 стандартынан тыс жөнелту керек немесе ол басқа стандарт желісінен алынған болса, трансляцияны қолдау үшін қажет. Мұнда әдеттегі оқиға – сымсыз ЖЕЖ және Интернет арасындағы байланыс.

Деректерді жеткізу (data delivery). Нақты осы қызмет түрі желі жұмысының негізгі кілті болып саналады. Өйткені 802.11 желісі деректер алмасу үшін қызмет етеді. Бұл қызмет станцияларға осы тараудың басында сипатталған хаттамалар бойынша деректер жөнелтуге және қабылдауға мүмкіндік береді. 802.11 стандарты Ethernet стандартына негізделгендіктен, ал соңғы кезде деректерді жеткізуге 100% кепілдік жоқ, сымсыз желі үшін бұл, әсіресе шындық. Жоғары деңгейлер қателікті анықтау және түзетумен айналысулары қажет.

Сымсыз тасымалдау – бұл кеңтаралымды сигнал. Сымсыз ЖЕЖ бойымен жіберілген ақпараттың құпиялығын сақтау үшін, ол шифрлануы керек. Бұл мақсат, шифрлау және кері шифрлау егжей-тегжейін басқаратын, **құпиялық қызметі (privacy service)** арқылы жүзеге асырылады. WPA2 үшін шифрлау алгоритмі, 2002 жылы мақұлданған америка үкіметінің **AES (Advanced Encryption Standard – жақсатылған шифрлау стандарты)** стандартына негізделген. Шифрлау үшін қолданылатын кілттердің барлығы аутентификация рәсімі кезінде анықталады.

Эртүрлі басымдылықтағы трафиктерді өңдеу үшін **QOS трафикті жобалау (QOS traffic scheduling)** қызметі бар. Ол дыбыстық және видео трафиктерге, «ең көп күш салу» және фондық трафик алдында басымдық беру үшін, біз сипаттаған хаттамаларды пайдаланады. Ілеспе қызмет жоғары деңгейлерді синхронизациялауды қамтамасыз етеді. Бұл станцияларға өз әрекеттерін үйлестіруге мүмкіндік береді және мультимедианы өңдеу үшін пайдалы.

Соңында, станцияларға спекторды пайдалануды басқаруға көмектесетін екі қызмет түрі бар. **Тасымалдаушы қуатын реттеу (transmit power control)** станцияларға, аймақтарға байланысты өзгеріп отыратын тасымалдау қуатының орнатылған шекті көрсеткішке сәйкес болуға қажет ақпаратты беріп отырады. **Жиілікті динамикалық түрде таңдау (dynamic frequency selection)** қызметі станцияларға, радарлар пайдаланатын 5ГГц жекеменшік диапазонында тасымалдаудан құтылуды шектейтін ақпаратты алуға көмектеседі.

Осы қызметтердің көмегімен 802.11 стандарты, жақын орналасқан мобильді клиенттерді Интернетпен байланыстыру мүмкіндігінің үлкен жиынтығын қамтамасыз етеді. Бұл үлкен жетістік еді, бұдан да көп мүмкіндіктерді қосу үшін стандарт бірнеше түзетілді. Стандарттың қайдан, қалай жылжып бара жатқанын (Niertz және басқалар, 2010) жұмыстарынан көруге болады.

4.5. КЕҢЖОЛАҚТЫ СЫМСЫЗ ЖЕЛІЛЕР

Алайда, біз ғимаратта отырып қалдық. Көшеге шығайық, онда «соңғы миль» деп аталатын қызықты желілер бар. Көптеген елдерде телефон жүйесі, бір мезгілде қатты басқарылудан қалды. Дыбыстық байланыс және интернет қызметін ұсынатын көптеген фирмалар пайда болды.

Ұсыныстар шын мәнінде көп болды. Тек миллиондаған абоненттерге талшықты оптикалық немесе коаксиалды кабельді тарту тым қымбатқа түсетін болды. Не істеу керек?

Жауап қарапайым да күрделі. Кеңжолқты сымсыз желілер керек. Ауыл шетіндегі жотаның үстіне бір үлкен антенна қойып, абоненттердің үйлерінің төбесіне қабылдаушы антенна қою, траншея қазып, кабель жүргізгеннен әлдеқайда арзан. Сөйтіп, дыбыстық коммуникацияларды, Интернетке қолжеткізуді, сұраныс бойынша видео тасымалдауды және т.б. қызмет түрлерін іске асыратын, байланыстың бәсекелес операторлары, көпмегобиттік сымсыз байланыс жүйелерін дамытуда тәжірибе жасай бастады.

Нарықты ынталандыру үшін, IEEE қалалық кеңжолақтық сымсыз желіні стандарттайтын топ құрастырды. 802-нің келесі нөмірі 802.16 болды, сөйтіп, стандарт осы нөмірге ие болды. Бейресми түрде технологияны **WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)** деп атады. Біз 802.16 және WiMAX терминдерін қолданатын боламыз.

Алғаш рет 802.16 стандарты 2001 жылдың желтоқсан айында қабылданды. Версия шешімдері, бір-бірін тікелей көретін тұрақты нүктелер арасында, жергілікті сымсыз желіні қамтамасыз етті. Кейіннен, WiMAX кабельге, DSI және Интернетке қолжеткізуге бәсекелес балама болу үшін, бұл схема өзгертілді. 2003 жылдың қаңтар айында, 2 және 10 ГГц жиіліктер аралығында, OFDM технологиясының көмегімен тікелей көрінбейтін нүктелер арасында байланысты қолдау үшін, 802.16 стандарты қайта қаралды. Бұл өзгеріс орнатуды біраз жеңілдетті, бірақ станциялар әлі де тұрақты орында болды. Деректер тасымалдауда жоғары жылдамдықты және жылжымалылықты қамтамасыз ететін, ұялы желілінің 3G буынының өсуі қауіп төндірді. Жауап ретінде, транспорт жылдамдығында жылжымалылықты қамтамасыз ету үшін, 2005 жылдың желтоқсан айына 802.16 тағы да жақсартылды. Кеңжолақтық мобильді Интернетке қолжеткізу – IEEE 802.16-2009-дың келесі мақсаты.

802 сериясының басқа стандарттары тәрізді 802.16 стандарты OSI моделінің идеяларын пайдалану негізінде құрастырылған. Мұнда да деңгейлерді, ішкі деңгейлерді табуға болады. Ұқсас терминология, қызметтік қарапайымдықтар және т.б. қолданылады. Өкінішке орай, OSI тәрізді 802.16 стандарты да қолайсыз. Іс жүзінде **WiMAX форумы (WiMAX Forum)** стандарттар жиынтығын коммерциялық ұсыныстар үшін әрекеттестіру мүмкіндіктерін анықтау үшін құрастырылған. Келесі бөлімдерде біз 802.16-ның негізгі қасиеттерінің қысқаша сипаттамасын келтіреміз, алайда мұндай зерттеу толық болып саналмайды, онда көптеген егжей-тегжей жағдайлар қалып қойған. WiMAX және жалпы кеңжолақтық сымсыз желілер жайлы қосымша ақпаратты Andrews және басқалар, 2007 табасыздар.

4.5.1. 802.16 стандартын 802.11 және 3G-мен салыстыру

Жаңа стандарттың қаншалықты қажеттілігі бар? 802.11 немесе 3G-ді неге қолданбаққа? Физикалық тұрғыдан WiMAX 802.11 және 3G ұстанымдарын араластырып, 4G технологиясына ұқсас бола бастады.

802.11 стандарты тәрізді WiMAX құрылғыларды Интернетке, секундына бірнеше мегабит жылдамдықпен, кабель немесе DSI қолданбай қосатын сымсыз технологияларға жатады. Құрылғылар мобильді немесе портативті болуы мүмкін. WiMAX төменгі жылдамдықты деректерді ұқсас дыбыстық желілерге қосудан басталған жоқ; 802.16 стандарты IP дестелерді радиоарна бойынша тасымалдап, негізгі IP желімен, неғұрлым аз әбігерлікпен байланысу үшін құрастырылған болатын. Өртүрлі қосымшаларды қолдау үшін дестелерде ЖЕЖ-нің тең құқылы

түйіндерін байланыстыру, IP-телефония қоңыраулары немесе ағындық мультимедиа трансляцияларының трафигі болуы мүмкін. Көпсәулелік өшу тәрізді сымды желінің нашарлауына қарамастан, жақсы жұмысқа кепілдік беру үшін WiMAX 802.11 стандартына ұқсас OFDM технологиясына және жоғарғы дәрежелі өткізгіштік қабілеттілікке жету үшін MIMO технологиясына негізделген.

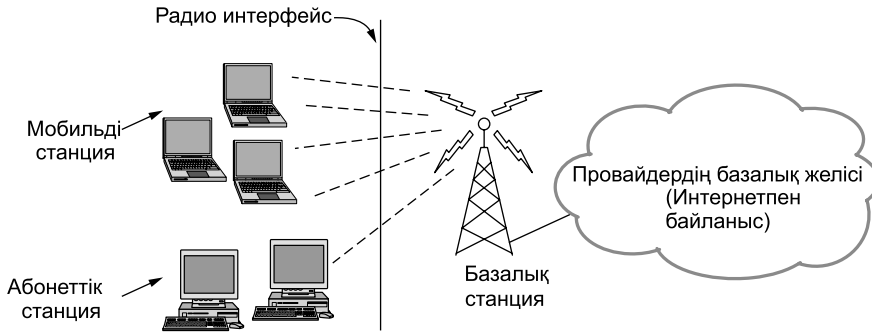
Алайда, WiMAX бірнеше басты негізгі қарым-қатынастар бойынша көбіне 3G-ге жақын (сөйтіп 802.11-ден ерекшеленеді). Басты техникалық мәселе, қамту аймағындағы неғұрлым көп абоненттер үлкен өткізгіштік қабілеттілікке ие болу үшін спекторды сапалы қолданудың үлкен мөлшеріне жету. Әдеттегі арақашықтық 802.11 желісіне қарағанда 10 есе үлкен. Демек WiMAX базалық станциялары, 802.11 қолжеткізу нүктелеріне қарағанда әлдеқайда қуатты. Үлкен арақашықтықтағы әлсіз сигналдарды өңдеу үшін, базалық станция жоғары қуатты және ең жақсы антеннаны пайдаланады, сонымен бірге, қателіктерді өңдеу үшін көп жұмыс жасайды. Өткізгіштік қабілеттілікті жоғарылату үшін базалық станция әр абоненттің тасымалдануын егжей-тегжейлі жобалап қояды. Спекторды қолдану, өзінің қақтығыстарымен өткізгіштік қабілеттілікті ысырап ететін CSMA/CA хаттамасын қолдануға рұқсат бермейді.

Лицензиялы спектор – WiMAX үшін күту жағдайы, АҚШ-та бұл әдетте 2,5ГГц. Жүйе жалпы 802.11-ге қарағанда әлдеқайда оңтайландырылған. Спекторды лицензиялауға жұмсалған ақымды ақшаны есепке алғанда, күрделілік ақталды. 802.11 стандартынан ерекшелігі – нәтиже: басқарылымды және жақсы сапамен ұштасқан сенімді қызмет көрсету.

802.16-ның осы барлық ерекшеліктері **LTE (Long Term Evolution)** деген атпен стандартталатын, ұялы желілердің 4-ші буынына (4G) жақын. 3G ұялы желілері CDMA-ға негізделген және дыбыс деректерін қолдайтын болса, 4G желілері OFDM және MIMO негізделіп, деректер тасымалдайды, ал дыбыс тек қосымшалардың бірі болады. Технологиялар және қосымшалар тұрғысынан қарағанда WiMAX және 4G қарама-қарсы беталыспен келе жатқандай көрінеді. Мүмкін, бұл жуықтау ғажап емес шығар, егер Интернеттегі революциялық технология, ал OFDM және MIMO технологиялары – спекторды тиімді қолданудың ең танымал технологиялары екендігін ескерсек.

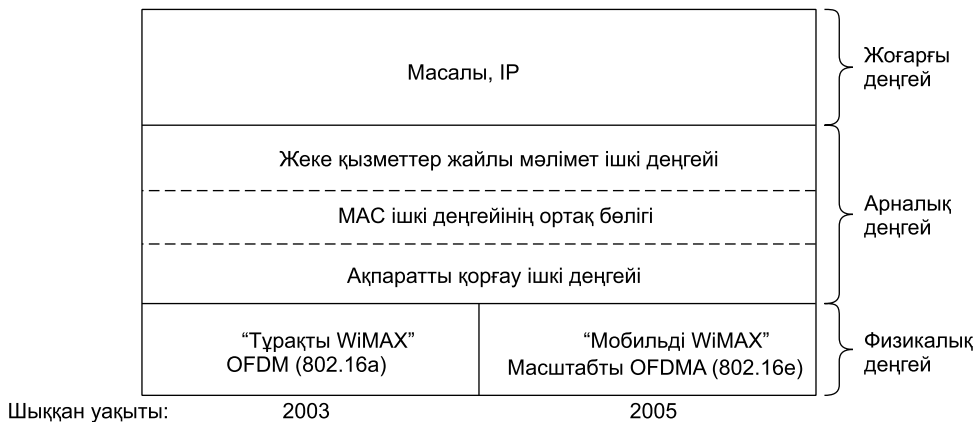
4.5.2. 802.16 стандарты: құрылымы және хаттамалар стегі

802.16 стандартының құрылымы 4.27-суретте келтірілген. Базалық станциялар, правайдердің базалық желісімен тікелей байланысады. Ал, ол өз кезегінде Интернетпен байланысады. Базалық станциялар станциялармен сымсыз радиоинтерфейс арқылы байланысады. Станциялардың екі түрі бар. Абоненттік станциялар (subscriber stations) тұрақты орналасқан, мысалы, үйлер Интернетке кеңжолақтық қолжеткізу жағдайында. Мобильдік станцияларға қозғалыс кезінде қызмет көрсетілуі мүмкін, мысалы, WiMAX-пен жабдықталған автомобиль.



4.27-сурет. 802.16 стандартының құрылымы

Радиоинтерфейсте қолданылатын 802.16 стандартының хаттамалар стегі 4.28-суретте көрсетілген. Жалпы құрылым 802 сериясының басқа да стандарттары тәрізді, алайда мұнда ішкі деңгейлер көп. Төменгі деңгей тасымалдаумен жұмыс істейді және біз мұнда 802.16-ның тек танымал ұсыныстарын көрсеттік: тұрақты және мобильді WiMAX. Әр ұсыныстың өз физикалық деңгейі бар. Екі деңгейде 11 ГГц-тен төмен лицензияланған спекторда жұмыс жасайды және OFDM-ді әртүрлі қолданады.



4.28-сурет. 802.16 хаттамалар стегі

Физикалық деңгейден жоғары орналасқан арналық деңгей үш ішкі деңгейден тұрады. Олардың төменгісі ақпаратты қорғауға (security sublayer) жатады, бұл ғимараттағы жекеменшік желіге қарағанда, көпшілік көшедегі желі үшін өте сынды. Бұл ішкі деңгейде деректерді шифрлау, керішифрлау және қолжеткізу кілттерін басқару жүзеге асырылады.

Келесі болып MAC ішкі деңгейінің жалпы бөлімі орналасқан. Иерархияның

нақты осы деңгейінде негізгі хаттамалар – соның ішінде арнаны басқару хаттамасы орналасқан. Негізгі ой, базалық станция бүкіл жүйені толық қадағалайды. Ол абоненттерге тасымалдаудың төмендейтін трафик кезегін тиімді таратады және жоғарылатылған трафикті (абоненттен базалық станцияға) басқаруда негізгі рөлді атқарады. 802.x барлық басқа стандарттарынан 802.16 стандартының MAC ішкі деңгейінің ерекшелігі, ол толығымен байланыс орнатуға бағытталған. Сонымен, телефон байланысы және мультимедиа тасымалдау кезінде, қызмет көрсетудің белгілі бір сапасына кепілдік беруге болады.

Жеке қызметтер жайы мәліметтің ішкі деңгейі (service specific convergence sublayer) 802.x стандарттарының басқа хаттамаларындағы логикалық байланысты басқару ішкі деңгейінің рөлін атқарады. Оның негізгі қызметі желілік деңгей үшін интерфейс ұйымдастыру. Түрлі жоғары деңгейлермен жеңіл бірігу үшін, әртүрлі жуықтау деңгейі анықталған. Стандарт Ethernet және ATM тәрізді хаттамалар үшін бейнелеуді анықтаса да, маңызды таңдау – IP. IP байланыс орнатусыз хаттама болғандықтан, 802.16 MAC ішкі деңгейі – байланыс негізіндегі модель, бұл деңгей адресстер және байланыстар арасындағы бейнелеуді іске асырады.

4.5.3. 802.16 стандарты: физикалық деңгей

WiMAX-ты іске асырудың көп бөлігі шамамен 3,5 ГГц немесе 2,5 ГГц лицензияланатын спекторды қолданады. Басты мәселе, 3G-гідей – қолжетімді спекторды табу. Сондықтан 802.16 стандарты икемділікпен құрастырылған. Ол 2-ден 11 ГГц-ке дейінгі диапазонда жұмыс істей алады. Әртүрлі мөлшердегі арналар да қолданады, мысалы, 3,5 МГц тұрақты WiMAX үшін және 1,25-тен 20 МГц-ке дейін мобильді WiMAX үшін. Жөнелтулер осы арналар бойынша, 2.5.3-бөлімінде сипатталған, OFDM тәсілін қолданумен жіберіледі. 802.11-мен салыстырғанда 802.16-ғы OFDM схемасы, лицензияланған спекторды және кең тасымалдау аумағын бар мүмкіндігінше қолдану үшін оңтайландырылған. Арна, сигналдың үлкен сымсыз құлдырауына төтеп беру үшін көптеген символ ұзақтығы созылмалы, ішкі тасымалдауыштарға (несущие) бөлінген: WiMAX параметрлері 802.11-дің сәйкес параметрлерінен шамамен 20 есе үлкен. Мысалы, мобильді WiMAX-те 5 МГц арна үшін 512 ішкі тасымалдауыштар бар және әр ішкі тасымалдауышқа символ жөнелту уақыты 100 мкс құрайды.

Әр ішкі тасымалдауышқа символ 2.5.3-бөлімінде қарастырылған, модуляциялы QPSK, QAM-16 және QAM-64 схемалары арқылы жіберіледі. Егер мобильді телефон немесе абонент БС-ға жақын орналасса және қабылданатын сигналдың сигнал/шу қатынас деңгейі жоғары болса, бір символға 6 бит QAM-64 пайдалануға болады. Қашықтықтағы, сигнал/шу қатынас деңгейі төмен станцияларға жету үшін бір символға екі бит QPSK схемасын пайдалануға болады.

Алдымен деректер, 3.2.1-бөлімде айталғандай түйген кодтауды (немесе басқа жақсы схеманы) пайдаланып, кателіктерді түзету үшін кодталады. Мұндай кодтау шулы арналарда, қайта тасымалдау қажеттілігінсіз жеке бірлік кателіктерді жіберу

үшін қолданылады. Іс жүзінде модуляциялау және кодтау тәсілдері осы кезде таныс болу керек. Олар біз танысқандай, 802.11 желісін қоса алғанда, көптеген желілер, кабель және DSL үшін қолданылады. Соңғы нәтиже, базалық станция, 5 МГц арна және екі антенна үшін төмендемелі трафикпен ақпаратты 12,6 Мбит/с-ке дейінгі жылдамдықпен, ал жоғарыламалы трафикті 6,2 Мбит/с-ке дейінгі жылдамдықпен тасымалдай алады.

802.16 желілерінің құрастырушыларына CSM және DAMPS стандарттардың жұмысы ұнамады. Екі стандартта да, төмендемелі және жоғарыламалы трафиктер үшін ені бойынша эквивалентті жиілік жолағы қолданылады. Сөйтіп, олар жасырын түрде төмендемелі трафик саны жоғарыламалы трафикпен бірдей деп болжайды. Дыбыстық байланыс, шын мәнінде негізінен симметриялы, алайда Интернетке қолжеткізуде (веб-серфинг үшін де) әдетте төмендемелі трафик жоғарыламалы трафиктен әлдеқайда көп. Қатынас 2:1, 3:1 немесе одан да жоғары болуы мүмкін.

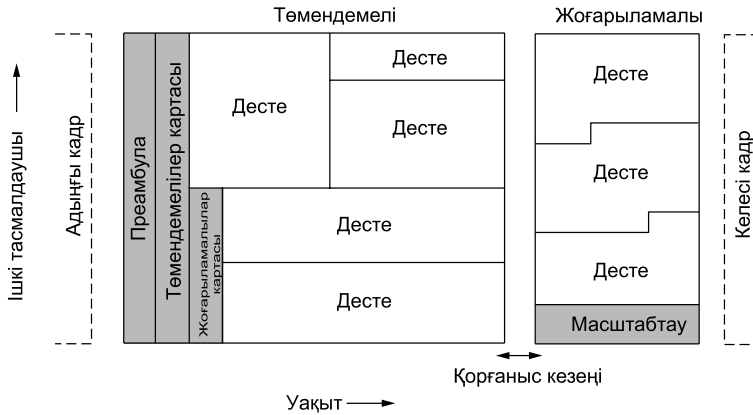
Сондықтан құрастырушылар иілімелі, арнаны станциялар арасында бөлетін, **OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access – арнаны ортогоналды жиілікпен бөліп көпшілік қолжеткізу)** схемасын таңдады. OFDMA схемасымен ішкі тасымалдауыштардың әртүрлі жиынтығы, бір мезетте бірнеше станция жөнелте және қабылдай алатындай етіп, әртүрлі станцияларға тағайындалуы мүмкін. Егер бұл 802.11 стандарты болса, онда барлық ішкі тасымалдауыштарды нақты кез келген мезетте бір ғана станция қолданар еді. Мұндай тәсілдің қосымша иілгіштігі, өткізгіштік жолақтың тағайындалуы өнімділікті жоғарылатуы мүмкін. Себебі нақты ішкі тасымалдауыш бір қабылдағышта көпсәулелік эффект әсерінен жоғалып кетер еді, ал басқасында таза болар еді. Ішкі тасымалдауыштар оларды ең тиімді қолданатын станцияларға тағайындалуы мүмкін.

Ассиметриялы трафик болғанда, станцияларда әдетте жөнелту мен қабылдау кезекпен жүргізеді.

Бұл тәсіл **TDD (Time Division Duplex – уақыт бойынша бөлінген дуплекс)** деп аталады. Станциялар деректерді бірізгілікте жөнелтіп, қабылдайтын балама тәсіл **FDD (Frequency Division Duplex – жиілік бойынша бөлінген дуплекс)** деп аталады. WiMAX екі тәсілді де қолдайды, бірақ басымдылық TDD берілген, себебі ол иілімелі және оны жүзеге асыру жеңіл.

4.29-суретте ұзақ уақыт аралығында қайталанатын кадр құрылымының мысалы келтірілген. Ол барлық станцияларды синхронизациялау кіріспесінен (преамбула) басталады. Одан кейін, базалық станциядан төмендемелі тасымалдау басталады. Алдымен базалық станция, барлық станцияларға төмендемелі және жоғарыламалы ішкі тасымалдауыштардың кадрларға қалай тағайындалғаны жайлы мәлімет беретін картаны жөнелтеді. Базалық станция карталарды басқарады, сөйтіп, ол әр станцияның қажеттілігіне қарай, кадрдан кадрға дейін әр станцияға өткізгіштік жолақтың әртүрлі бөлігін белгілеп беріп отырады.

Содан кейін, базалық станция абоненттік және мобильдік станцияларға ішкі тасымалдауышпен, картада көрсетілген уақытқа сәйкес десте трафигін жөнелтеді. Төмендемелі трафик тасымалы қорғаныс аралығымен аяқталады, бұл станцияларға қабылдау режимінен жөнелту режиміне ауысуға мүмкіндік береді.



4.29-сурет. OFDMA және уақыт бойынша бөлінген дуплекс үшін кадр құрылымы

Соңында, абоненттік және мобильдік станциялар базалық станцияға, картада өздеріне белгіленген жоғарыламалы позициялары бойынша, дестелер трафигін жөнелтеді. Осы жоғарыламалы дестелердің бірі **масштабтауға (ranging)** бөлінген – бұл басқа станциялар, базалық станциямен байланысу үшін өз синхронизациясын түзетіп, өткізу жолағының басына сұраныс беретін процесс. Бұл сатыда ешқандай байланыс орнатылмағандықтан, жаңа станциялар тек жөнелтуді орындап, қақтығыс жоқ деп үміттенеді.

4.5.4. 802.16 стандарты: MAC ішкі деңгейінің хаттамалары

Сонымен, деректер тасымалдау деңгейі 2.28-суретте көрсетілгендей, үш ішкі деңгейге бөлінген. Біз 8-тарауға дейін криптография принциптерін қарастырмайтын болғандықтан, қазір ақпаратты қорғау ішкі деңгейінің жұмысын түсіндірудің қажеті жоқ деп санаймыз. Тасымалданатын деректерді жасыру үшін шифрлау қолданады деу жеткілікті. Шифрлау тек деректердің өзіне ғана қолданылады, ал тақырыптар шифрланбайды. Бұл зиянкес кімнің кіммен сөйлесіп жатқанын біліп қояды, бірақ әңгіме мағынасын тыңдай алмайды дегенді білдіреді.

Егер сіз криптографиямен таныс болсаңыз, төменде бір абзац келтірілген, сіз бұл абзацтан ақпаратты қорғау ішкі деңгейінің қандай принциптерді қолданатындығын түсінесіз. Кері жағдайда келесі абзацтан сіз таныс емес сөздерді табасыз. Ең жақсысы, бұл абзацты 8-тараудан кейін қайталап оқу.

Абонент базалық станциямен байланысқан кезде, ашық кілтті RSA (X509 сертификаты) алгоритмінің көмегімен өзара сәйкестендіру орындалады. Тасымалданатын ақпараттың өзі симметриялы криптографиялық кілттің көмегімен шифрланады: немесе AES (Rijndael), немесе DES шифрланған блоктарды ілуімен (cipher block chaining). Деректердің бүтіндігі SHA-1 алгоритмінің көмегімен тексеріледі. Қалай, тым қорқынышты абзац болды ма?

Енді МАС ішкі деңгейінің жалпы бөліміне көшейік. МАС ішкі деңгейі байланыстыруға бағытталған және көпнүктелі болады, бұл бір базалық станция бірнеше абоненттік станциялармен хабарласады дегенді білдіреді. Бұл схеманың үлкен бөлігі, кабельдік модемдерден алынған: тұтынушы ғимаратындағы кабельдің басты түйіні бірнеше кабельдік модемдердің мәлімет алмасуын басқарады.

Төмендемелі трафик арнасы қарапайым жасалған. Базалық станция, әртүрлі абоненттік станцияларға ақпарат жөнелту үшін қолданылатын, физикалық деңгей дестелерін басқарады. МАС ішкі деңгейі өзінің кадрларын осы құрылымға тек біріктіреді. Қызметтік деректерді азайтудың бірнеше нұсқалары бар. Мысалы, МАС кадрларын жеке немесе бірінен кейін бірін топтарға біріктіріп жөнелтуге болады.

Қолжеткізу үшін өзара бәсекелес станциялар болғандықтан, жоғарыламалы арна біршама күрделі. Оны бөлу қызмет көрсету сапасымен тікелей байланысты. Қызмет көрсетудің төрт класы анықталған.

1. Тұрақты биттік жылдамдық қызметі.
2. Айнымалы биттік жылдамдықпен нақты уақытта қызмет көрсету.
3. Нақты уақыт масштабында емес, айнымалы биттік жылдамдықпен қызмет көрсету.
4. Қызмет көрсетуге міндетті түрде бар мүмкіндікті салу қызметі.

802.16 стандарты ұсынған барлық қызметтер байланысқа негізделген және әр байланыс жоғарыда аталған қызмет кластарының біріне қолжеткізеді, ол байланыс орнатылғанда анықталады. Бұл шешім, МАС ішкі деңгейінде байланысқа деген қандай да бір лебіз жоқ, Ethernet-тен де, 802.11-ден де өзгеше.

Тұрақты биттік жылдамдық қызметі T1 арнасы бойымен тасымалданатындай, тығыздалмаған дыбысты тасымалдауға арналған. Мұнда алдын ала анықталған көлемдегі деректерді алдын ала анықталған уақыт аралығында тасымалдау керек. Бұл әр байланысқа, қызметтің осы түрдегі өз аралығын тағайындау арқылы жүзеге асырылады. Арна таратылғаннан кейін, уақыт аралығына қолжеткізу автоматты түрде орындалады және олардың әрқайсысына жеке сұраныс жасаудың қажеті жоқ.

Айнымалы биттік жылдамдықпен нақты уақытта қызмет көрсету тығыздалған мультимедиалық деректерді және басқа да нақты уақыт қосымшаларын тасымалдауда қолданылады. Әр уақыт кезеңінде қажет өткізгіштік жолағы өзгеруі мүмкін. Базалық станция, белгілі бір уақыт аралығы өткен сайын, осы уақыт мезетінде қажет арна енін анықтау мақсатында сұрау жүргізіп, жолақтың қандай да бір бөлігін бөліп береді.

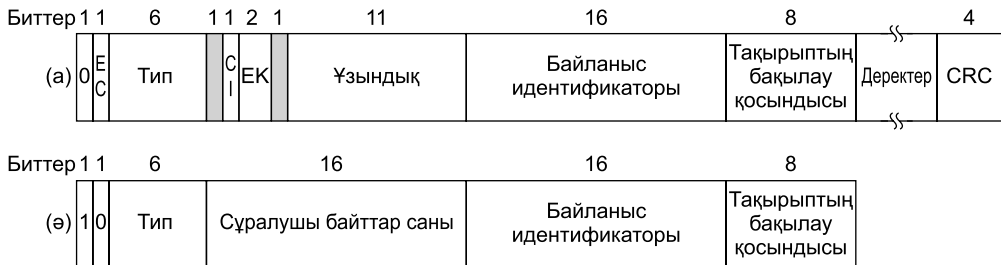
Нақты уақыт масштабында емес, айнымалы биттік жылдамдықпен қызмет көрсету қарқынды трафикке арналған, мысалы, үлкен көлемдегі файлды тасымалдау. Мұнда да базалық станция абоненттерге жиі сұрау жібереді, бірақ қатаң бекітілген уақыт аралығында емес. Бұл қызмет байланысын төмендегі сипатталған, қызмет көрсетуге міндетті түрде бар мүмкіндікті салу қызметі де жолаққа сұраныс жасау үшін пайдалануы мүмкін.

Соңында, қызмет көрсетуге міндетті түрде бар мүмкіндікті салу қызметі барлық қалған тасымалдау түрлері үшін қолданылады. Мұнда ешқандай сұрау жоқ, арнаны алып қалғысы келген станция дәл осы класс қызметі керек, басқа станциялармен бәсекелеседі. Өткізгіштік қабілетке сұраныс, жоғарыламалы ағынды тарату картасында, бәсекеге қолжетімді ретінде белгіленген уақыт аралығында жүргізіледі. Егер сұраныс ойдағыдай өтсе, ол жоғарыламалы ағынды таратудың келесі картасында белгіленеді. Кері жағдайда, жолы болмаған абонент тартысты жалғастыруы керек. Қақтығыстарды азайту үшін, Ethernet-тен алынған екілік экспоненциалды ұстау алгоритмі қолданылады.

4.5.5. 802.16 стандарты: кадр құрылымы

Ортадағы қол жеткізу (MAC) ішкі деңгейінің барлық кадрлары бір тақырыптан басталады. Одан кейін деректер өрісі орналасады (немесе басқаша) және кадр міндетті емес бақылау қосындысы өрісімен (CRC) аяқталады. Кадр құрылымы 4.30-суретте көрсетілген. Қызметтік, мысалы, уақыт аралығын сұрауға арналған кадрларда деректер өрісі жоқ. Қателіктердің физикалық деңгейде түзелетіндігіне және еш уақытта нақты уақыт масштабында тасымалданатын ақпарат кадрын қайта жөнелтуге ұмтылыс болмайтындығына орай, бақылау қосындысы да міндетті емес. Егер ешқандай қайта жөнелту болмаса, аппаратураны бақылау қосындысын есептеп, тексеру үшін мазалаудың қажеті қанша? Алайда, егер бақылау қосындысы бар болса, ол IEEE 802. үшін стандартты, ал растау және қайталап тасымалдау сенімділік үшін қолданылады.

Тақырып өрісін қысқаша қарастырайық (4.30 а-сурет). ЕС биті деректер өрісінің шифрланауы жайлы хабарлайды. *Тип* өрісі кадр типін көрсетеді (кадр біріктірілген бе, фрагментациялау бар ма). *CI* өрісі соңғы бақылау қосындысының бар-жоғын көрсетеді. *EK* өрісі шифрлаудың қандай кілті қолданылғандығын (егер қолданылса) көрсетеді. *Ұзындық* өрісі де тақырыпты қоса алғандағы кадрдың толық ұзындығы көрсетіледі. *Байланыс идентификаторы* кадрдың қандай байланысқа тиісті екенін білдіреді. Тақырып соңында *Тақырыптың бақылау қосындысы* өрісі бар. Оның мәні $x^8 + x^2 + x + 1$ полиномының көмегімен есептеледі.



4.30-сурет. а – қарапайым; ә – арнаға сұраныс кадры

802.16 хаттамасында кадрлардың бірнеше типі бар. 4.30 *ә-суретінде* арнаға сұраныс кадрының мысалы келтірілген. Ол нөлдік емес, бірлік биттен басталады және жалпы алғанда, тек тасымалданатын байттар санына сәйкес қажет жолақ жайлы хабарлайтын, 16 биттен тұратын, екінші және үшінші байттан басқалары қарапайым кадр тақырыбын елестетеді. Арнаға сұраныс кадрында, деректер өрісі және барлық кадрлардың бақылау қосындысы жоқ.

802.16 стандарты жайлы көп айтуға болады, бірақ бұл жерде емес. Қосымша ақпараты IEEE802.16-2009 стандартының ресми сипаттамасынан алыңыздар.

4.6. BLUETOOTH

1994 жылы Л. М. Эриксон (L. M. Ericsson) компаниясы мобильдік телефондар және басқа құрылғылар (мысалы, портативті компьютерлер) арасындағы сымсыз байланыс мәселесіне қызығушылық танытты. 1998 жылы басқа төрт танымал компаниялармен (IBM, Intel, Nokia Toshiba) бірге арнайы топ жасақталып (SIG – Special Interest Group, демек консорциум), есептеу және байланыс құрылғылары арасындағы сымсыз байланыс стандартын дамыту және кішігірім радиуста әрекет ететін, арзан, азқуатты радиоқұрылғыларды пайдаланатын аксессуарларды құрастырумен айналыса бастады. Жоба, Дания мен Норвегияны біріктірген (жаулап алған), викингтердің ұлы ханы Гаральд Синий Зуб II (940-981) құрметіне **Bluetooth («Көк тіс»)** деп аталды. Ия, ол да мұны сымсыз жасады.

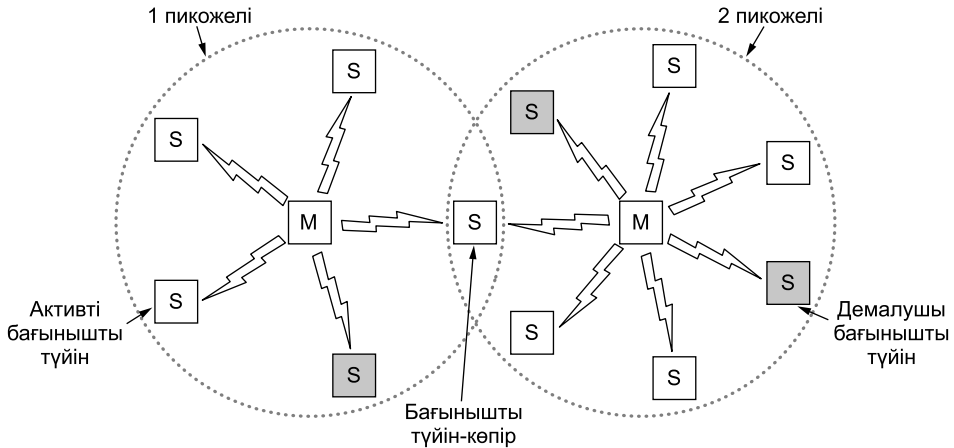
Bluetooth 1.0 1999 жылдың шілде айында пайда болды, содан бері SIG еш уақытта артына қарайлаған емес. Енді көптеген тұтынушылық электронды құрылғылар Bluetooth-ды пайдаланады – мобильдік телефон мен ноутбуктерден бастап, құлаққаптар (наушниктер), принтерлер, пернетақталар, тышқан колтетігі, ойын қосымшалары, сағаттар, аудиоплеерлер, навигациялық құрылғылар және т.б. дейін. Bluetooth хаттамалары бұл құрылғыларға бір-бірін тауып, түйіндісіру (pairing) деп аталатын әрекет көмегімен байланысып, сенімді деректер тасымалдауға мүмкіндік береді.

Хаттамалар да өткен онжылдықта дамыды. Алғашқы хаттамалар тұрақтанғаннан кейін, 2004 жылы Bluetooth 2.0-ге деректер тасымалдаудың жоғары жылдамдығы қосылды. 2009 жылдан бері Bluetooth 3.0 версиясы, деректерді жоғары жылдамдықпен тасымалдау және құрылғыларды 802.11-мен түйіндісіру үшін қолданылады. 2009 жылдың қаңтарынан 4.0 версия төмен энергия қоректену жұмысын анықтады. Бұл, үйдегі барлық құрылғылардың батареясын тұрақты алмастыратын адамдар үшін ыңғайлы. Төменде біз Bluetooth-дің негізгі қырларына сипаттама береміз.

4.6.1. Bluetooth құрылымы

Bluetooth жүйесін оқуды біз, оның неден тұратынын және не үшін керек

екендігінен бастаймыз. Bluetooth негізін, бір бас түйіннен және 10 м радиуста орналасқан бірнеше (әдетте жетіге дейін) бағынышты түйіндерден тұратын **пикожелі (piconet)** құрайды. Бір бөлмеде, егер оның көлемі үлкен болса, бірнеше пикожелі орналаса алады. Олар тіптен өзара, *4.31-суретте* көрсетілгендей, арнайы көпір (арнайы түйін) арқылы байланыса алады. Бірнеше біріккен пикожелілер шашылған **желіні (scatternet)** құрайды.



4.31-сурет. Екі пикожелі бірігіп, шашылған желі құрай алады

Жеті активті бағынышты түйіндерден басқа, бір басты түйін 255-ге дейін демалыстағы түйіндерді қолдай алады. Бұл, басты түйін төмендетілген энергияқоректену режиміне ауыстырған құрылғылар. Осы режимнің арқасында қоректену көзінің ресурсы ұзартылады. Бұл режимде құрылғы тек активтендіру сұранысына немесе басты түйіннен келетін сигналдар тізбегіне жауап береді. Энергияқоректенудің екі аралық режимі бар – тоқтатылған және сараптаушы, бірақ біз оларды қазір қарастырмаймыз.

Басты және бағынышты түйіндер шешімі қарапайым және жүзеге аруға жеңіл (Bluetooth-дың барлық микросхемасы 5\$ тұрады) екен. Құрастырушылардың негізгі мақсаты осы болғандықтан, осы нұсқа қабылданды. Бұл шешімнің салдары, бағынышты түйіндер тым қыңыр болып шықты, олар тек басты түйіннің өкімдерін ғана орындайды. Пикожелілер негізінде, уақытша тығыздатылған, бір орталықан басқарылатын жүйелер принципі жатыр. Байланыс тек бағынышты және басты түйін арасында ғана бар. Бағынышты түйіндер арасында тікелей байланыс жоқ.

4.6.2. Bluetooth қосымшалары

Желілік хаттамалардың көбі, тек коммуникациялық бірліктер арасында байланыс арнасын ұсынады, ал осы арналарды қолданбалы байланыс үшін пайдалануды

құрастырушы құзырына қалдырады. Мысалы, 802.11 стандартында тұтынушылар өздерінің ноутбуктерін тек электронды поштаны оқу, Интернетте жұмыс жасау және т.с.с. үшін қолдану керек екендіктері айтылмаған. Керісінше, Bluetooth қолдайтын жеке қосымшаларын ерекшелендіреді және оның әрқайсысына жеке хаттамалар жиынтығын ұсынады. Осы тараудың жазылу кезінде, **профильдер (profiles)** деп аталатын, осындай 25 қосымша бар болатын. Өкінішке орай, бұл жүйені тым күрделендіреді. Біз өзіміздің сипаттамамызда көптеген егжей-тегжейді қалдырып, тек Bluetooth тобының қандай жетістіктерге жетуге ұмтылғандығын көру үшін, профильдерді қысқаша қарастырамыз.

Алты профил, аудио, видеоны әртүрлі жолмен пайдалануға арналған. Мысалы, intercom профилі, екі телефонға рация тәрізді өзара байланысуға мүмкіндік береді. Құлаққаптар және *hands free* профилдері бұл құрылғыларға базалық станциямен байланысты ұсынады. Бұл, мысалы, автомобильді басқарғанда ыңғайлы.

Басқа профилдер видео және стереодыбыстар ағынын тасымалдауға арналған, айталық, портативті аудиоплеерден құлаққаптарға немесе сандық фотоаппараттан теледидарға.

NID профилі адаммен әрекеттесетін құрылғыларға арналған – компьютер пернетақтасы және тышқан қолтетігімен байланысу үшін. Басқа профильдер мобильді телефонға немесе басқа компьютерге, камерадан бейнені алуға немесе бейнені принтерге жіберуге мүмкіндік береді. Мүмкін, мобильді телефонды, теледидардың қашықтықтан басқару пульгі (Bluetooth қолдауымен) ретінде қолдану профилі қызықтырақ шығар.

Келесі профильдер тобы желіге қатысты. ЖЕЖ қолжеткізу профилі Bluetooth құрылғысына тікелей желіге немесе 802.11 желісіндегідей қолжеткізу нүктесі арқылы қашықтықтан қолжеткізуге мүмкіндік береді. Қашықтықтан қолжеткізу профилі (*dial-up networking*), о бастағы осы жобаның құрастырылу мақсаты еді. Ол ноутбукке, кіріктірілген модем бар мобильді телефонмен сымсыз байланысуға мүмкіндік береді.

Сонымен бірге, жоғары дәрежеде ақпаратпен алмасу профилдері де анықталды. Сондай-ақ, синхронизациялау профилі, деректерді мобильді телефонға иесі үйден шыққанда жүктеп, келгеннен кейін шығарып алуға мүмкіндік береді.

Профилдердің қалған бөлігін біз қарастырмаймыз, тек олардың кейбіреуі жоғарыда аталған профильдерді құрастыруға негіз болғанын ескертеміз. Барлық профильдердің негізі болып саналатын, топтық қолжеткізу профилі бас және бағынышты түйіндер арасында байланыс орнатып, рұқсат етілмеген қолжеткізу байланысынан (арнаның) қорғайды. Басқа топтық профилдер объектілермен алмасу және аудио мен видео тасымалдау негізін анықтайды. Қызметтік профилдер, көптеген ескірген қосымшалармен жұмыс жасауға пайдалы, тізбектік арнаны эмуляциялау функциясы үшін қолданылады.

Шын мәнінде, стандартта барлық қосымшаларды сипаттап, олардың әрқайсысы үшін хаттамалар жиынтығын ұсыну қажет болды ма? Мүмкін олай емес те шығар, бірақ жүйені қолданудың түрлі қырларымен айналысқан, көптеген жұмысшы топтар болды. Әр жұмысшы топ өз профилін құрастырды. Бұл Конвей заңының іс

жүзіндегі көрсетілімі деп санаңыз. (1968 жылдың сәуірінде *Datamation* журналында Мелвин Конвейдің (Melvin Conway) «егер *n* программистке компилятор жазуды тапсырса, *n* түрлі компилятор алуға болады» деген мақаласы жария көрді. Жалпы алғанда, бұл программалық жабдықтаманың құрылымы құрастырушы топтың құрылымын бейнелейді деген ойды көрсетеді). Мүмкін, 25 емес екі хаттама жиынтығымен шектелуге болған шығар – бірі файлдарды тасымалдау үшін, бірі нақты масштабталған уақыт аралығында деректер тасымалдау үшін.

4.6.3. Bluetooth: хаттамалар жиынтығы

Bluetooth стандартында, *4.32-суретте* көрсетілгендей деңгейлерге еркін бөлінген, көптеген хаттамалар жиынтығы бар. Бір қарағанда құрылым OSI моделіне де, TCP/IP моделіне де, 802 моделіне де, танымал басқа модельге де ұқсамайды.

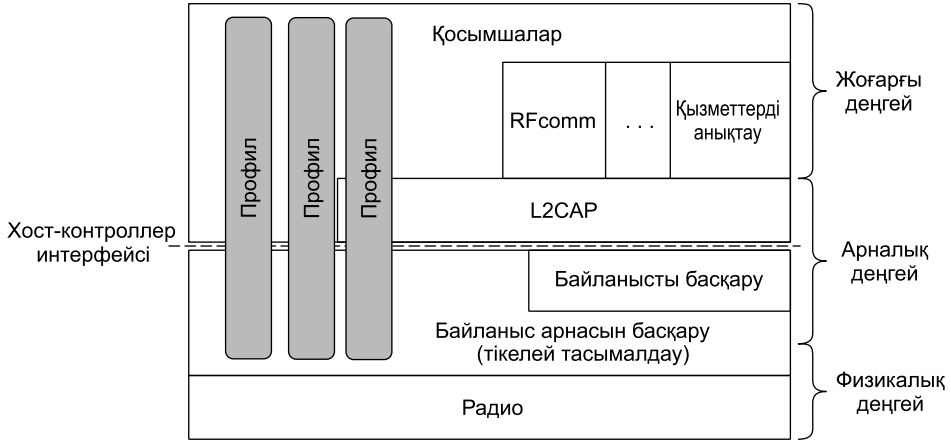
Ең төменде, OSI және 802 модельдеріне сәйкес келетін, физикалық (радиотехникалық) деңгей орналасқан. Мұнда радиобайланыс және қолданатын модуляция тәсілдері сипатталған. Көп нәрсе жүйені мүмкіндігінше арзан және көпшілік тұтынушыға қолжетімді жасауға бағытталған.

Байланыс арнасын басқару (тура тасымалдауды) деңгейі MAC ішкі деңгейін еске салады, бірақ физикалық деңгейдің кейбір элементтері де кездеседі. Мұнда, бас түйіннің уақыт аралығын қалай басқаратыны және бұл аралықтардың қалай кадрларға біріктірілетіні сипатталған.

Ары қарай, байланыс арнасын басқару хаттамасын пайдаланатын екі хаттама кетірілген. Байланысты басқару хаттамасы құрылғылар арасында логикалық арнаны орнатады, энергия тұтыну режимін, сонымен бірге қызмет көрсету сапасын басқарады. Ол хост контроллер интерфейсі торапынан төмен орналасқан. Бұл интерфейс – жүзеге асыру ыңғайлылығы: әдетте тораптан төмен хаттама Bluetooth чипінде орналасады, ал тораптан жоғары хаттама – чип орналасқан Bluetooth құрылғысында.

Арна деңгейінің хаттамасы – бұл **L2CAP (logical Link Control and Adaption Protocol)** – логикалық арналар басқару және келістіру хаттамасы). Қажет кезде сенімділікті қамтамасыз етеді және айнымалы ұзындықты мәліметтерді жинайды. L2CAP-ты көптеген хаттамалар пайдаланады, соның ішінде жоғарыда сипатталған екі қызметтік хаттама да. Қызметтерді табу хаттамасы, желі шеңберінде қызмет орындарын анықтау үшін қолданылады. RFCOMM хаттамасы ДК-дің пернетақта, тышқан қолтетігі, модем және басқа да құрылғылар қосылатын, стандартты тізбек портының жұмысын эмуляциялайды.

Ең жоғары деңгейде қосымшалар орналасқан. Профильдер тігінен орналасқан тікбұрыштар ретінде көрсетілген. Себебі олардың әрқайсы, нақты мақсаттағы хаттамалар стегінің бөлігін анықтайды. Ерекше профильдер, мысалы, гарнитур типті құрылғылар профилі тек өз жұмыстарына қажет хаттамаларды пайдаланады. Мысалы, профильдер жөнелтетін дестесі бар болса L2CAP-ты қосуы мүмкін, ал тек фондық аудио есептер болған жағдайда L2CAP-ты қоспайды.



4.32-сурет. Bluetooth 802.15 версиясының хаттамалар құрылымы

Келесі бөлімдерде біз радиобайланыс және Bluetooth арналық деңгейінің әртүрлі хаттамаларын қарастырамыз. Олар өрескел болса да, біз осыған дейін қарастырған басқа хаттамалар стегінің физикалық деңгейіне және MAC ішкі деңгейіне сәйкес келеді.

4.6.4. Bluetooth: радиобайланыс деңгейі

Радиобайланыс деңгейі ақпарат биттерін біртіндеп бас түйіннен бағыныштыларға және кері тасымалдайды. Бұл азқуатты, әрекет ету радиусы 10 метрді құрайтын, қабылдаушы-жөнелтуші жүйе. Ол 802.11 тәрізді ISM-де 2 ГГц диапазонында жұмыс жасайды. Диапазон әрқайсысы 1 МГц-тен 79 арнаға бөлінген. ISM диапазонды пайдаланатын басқа желілермен қатар өмір сүру үшін жиілікті секірмелі қайта құрастыратын кеңейтілген спектор қолданылады. Секундына 1600 секіріс болуы мүмкін, бір секірмелі уақыт (слот немесе такт) аралығының ұзақтығы – 625 мкс. Пикожелінің барлық түйіндері, такт синхронизациясына және бас түйін генерациялайтын жалған кездейсоқ секіріс тізбегіне сәйкес жиілікті бір мезгілде қайта баптайды.

Өкінішке орай, Bluetooth және 802.11 ертедегі версиялары интерференцияланып, бір-бірінің тасымалдауына кедергі келтіреді. Кейбір компаниялар бұған Bluetooth-ден толық бас тартумен жауап берді, бірақ соңында техникалық шешім табылды. Ол секірістер тізбегін басқа радиосигналдар бар арналарды шығарып тастауға бейімдеу. Бұл – бөгетті азайтатын құбылыс, **жұмысшы жиілікті бейімдеп қайта құрастыру (adaptive frequency hopping)** деп аталды.

Битті арна бойымен жөнелту үшін, модуляцияның үш түрі қолданылады. Базалық схема, әр микросекунд сайын 1 биттік символды жөнелту үшін жиілікті

жылжытып кодтауды пайдаланады. Бұл жалпы деректердің 1 Мбит/с жылдамдығын береді. Жоғары жылдамдықтар Bluetooth 2.0 версиясынан бастап пайда болды. Бұл жылдамдықтар деректердің 2 немесе 3 Мбит/с жылдамдығына жету, бір символ орнына 2 немесе 3 бит жөнелту үшін, фазаны жылжытып кодтауды пайдаланады. Мұндай жоғары жылдамдықтар, тек деректерден тұратын кадрлар үшін қолданылады.

4.6.5. Bluetooth: модульденбеген тасымалдау деңгейі

Модульденбеген тасымалдау деңгейі (байланыс арнасын басқару) – бұл Bluetooth иерархиясының MAC ішкі деңгейіне неғұрлым жақын элементі. Ол қарапайым биттер ағынын кадрға түрлендіреді және кейбір кілтті форматтарды анықтайды. Ең қарапайым жағдайда әр пикожелінің басты түйіні 625мкс-тен уақыт аралық тізбектерді береді. Бас түйін тарапынан деректер жөнелту жұп тактден, ал бағынышты түйіндер – тақ тактіден бастайды. Бұл схема – дәстүрлі уақытты тығыздау, бас бөлік уақыт аралығының бір жартысын алады, ал бағыныштыны екінші жартысын өзара бөліседі. Кадрлар ұзындығы 1,3 немесе 5 такт болуы мүмкін.

Әр кадрда тақырып және қолжеткізу кодына 126 қызметтік бит кетеді, бұдан басқа, 250-260 мкс-ты орнығу уақыты, жиілік ауыстырып, арзан радиосхемаларға тұрақтануға кетеді. Кадрдың пайдалы деректерін, жасыру үшін жетекші құрылғы бағыныштымен байланысқанда таңдалатын кілт көмегімен шифрлануы мүмкін. Жиілікті ауыстыру тек кадрлар арасында жүреді, бірақ кадр тасымалдау кезінде емес. Нәтижесінде 5-тактілі кадр 1-тактіліге қарағанда әлдеқайда тиімдірек, себебі, жұмсалатын қызметтік шығындар саны бірдей, ал деректер көп.

Байланысты басқару хаттамасы бір-бірін табуы керек, бас және бағынышты құрылғылар арасында кадрлар тасымалдау үшін **байланысулар (links)** деп аталатын логикалық арнада орнатады.

Байланысты пайдаланбас бұрын, екі құрылғы түйіндестіру процедурасынан өтеді. Түйіндестірудің ескі тәсілі – екі құрылғы да төрт цифрдан тұратын бір **PIN-кодпен (Personal Identification Number – жеке идентификациялық нөмір)** үйлестірілуі қажет. PIN сәйкестігі құрылғыға, қашықтықтағы қажет құрылғымен байланысқандығын білдіреді. Алайда тұтынушылардың елесі және құрылғылардың, «0000», «1234» тәрізді үнсіз келісім мәндерін пайдалануы, бұл тәсілдің іс жүзінде жоғары қауіпсіздік деңгейін қамтамасыз етпейтіндігіне әкеледі. Жаңа **түйіндестірудің қарапайым қауіпсіз тәсілі (secure simple pairing)** тұтынушыға екі құрылғының да бір кілтті көріп тұрғанын мақұлдауға немесе кілтті бір құрылғыда көріп екіншісінде оны енгізуіне мүмкіндік береді. Бұл тәсіл әлдеқайда қауіпсіз, себебі тұтынушылардың PIN-кодты таңдауы немесе орнатуы керек емес. Олар тек, әлдеқайда ұзын және құрылғы шығарған кілтті растайды. Әрине, бұл тәсілді кейбір, сымсыз гарнитуралар тәрізді енгізу/шығару шектелген құрылғылар пайдалана алмайды.

Түйіндестіру аяқталғаннан кейін, хаттама байланысты орнатады. Байланыстың екі негізгі түрі бар. Біріншісі – **SCO (Synchronous connection Oriented – синхронды байланыс орнатуымен)**. Тәсіл деректерді нақты уақыт масштабында тасымалдауға арналған, мысалы, телефонмен сөйлесу кезінде қажет. Арнаның бұл түрі, әр бағытта тасымалдау үшін тұрақты уақыт арлығын алады. Бағынышты түйін, SCO түрімен үш ретке дейін бас түйінмен байланыса алады. Олардың әрқайсысы өткізгіштік қабілеті 64 000 бит/с PCM аудиоарнасы болып келеді. Тасымалдау уақыты табиғатының сындылығына байланысты, осы типтегі арна бойымен жөнелтілген SCO кадрлары ешуақытта қайта тасымалданбайды. Оның орнына, әлдеқайда сенімді байланысты қамтамасыз ететін, қателікті тікелей түзетеді қолдануға болады.

Байланыстың басқа түрі **ACL (Asynchronous Connectionless – асинхронды байланыс орнатусыз)** деп аталады. Бұл байланыс түрі, кез келген уақытта пайда болатын, деректер дестесін коммутациялау үшін қолданылады. ACL трафигі қызметті қамтамасыз етуге бар күшті салу принципі бойынша жеткізіледі. Ешқандай кепілдік берілмейді. Кадрлар жоғалуы және қайта жөнелтілуі мүмкін. Бағынышты түйінде өзінің бас түйінімен тек бір ACL-байланысы болуы мүмкін.

ACL-байланыс бойынша жөнелтілген деректер L2CAP деңгейінен бастап пайда болады. Бұл деңгей төрт негізгі функцияны атқарады. Біріншіден, ол жоғарғы деңгейден 64 Кбайт мөлшеріндегі дестелерді қабылдап, физикалық арнамен жөнелту үшін кадрларға бөледі. Қарсы беттегі осы деңгей кері әрекет үшін қолданылады – кадрларды дестеге біріктіру.

Екіншіден, L2CAP десте көздері жиынын мультиплекстеу және демультиплекстеумен айналысады. Дестелерді жинағаннан кейін оларды қайда жөнелту керек екендігін анықтайды (мысалы, Rfcomm хаттамасына немесе қызметті анықтау хаттамасына).

Үшіншіден, L2CAP қателікті бақылауды және кадрларды қайта жөнелтуді басқарады. Ол қателіктерді анықтап, танылмаған дестелерді қайта жөнелтеді. Соңында, L2CAP бірнеше байланыстармен талап етілетін қызмет сапасын қамтамасыз етеді.

4.6.6. Bluetooth: кадр құрылымы

Bluetooth кадрларының бірнеше форматы бар. Олардың неғұрлым маңыздылары *4.33-суретте* екі формада көрсетілген. Кадр басында, бас түйін идентификаторы болып саналатын қолжеткізу коды көрсетіледі. Бұл жақын орналасқан екі бас түйінге бір-бірін «естуге», деректердің кімге арналғандығын ажыратуға мүмкіндік береді. Одан кейін, MAC ішкі деңгейіндегідей өрістерден тұратын, 54 биттік тақырып орналасады. Егер кадр базалық жылдамдықпен жөнелтілсе, ары қарай деректер өрісі орналасады. Оның мөлшері 2744 битпен шектелген (бес тактіде тасымалдау үшін). Егер кадр ұзындығы бір тактілік аралыққа сәйкес келсе, онда формат осы түрде қалады, тек бұл жағдайда деректер өрісінің ұзындығы 240 битті құрайды.



4.33-сурет. Әдеттегі Bluetooth ақпараттық кадры: а – базалық жылдамдық; ә – жоғарылатылған жылдамдық

Егер кадр жоғарылатылған жылдамдықпен жөнелтілсе, онда деректердің бір бөлігі екі немесе үш есе үлкен болуы мүмкін, себебі әр символ бір бит орнына 2 немесе 3 бит алады. Бұл деректердің алдында, әлдеқайда жоғары жылдамдыққа ауысуға мүмкіндік беретін, қорғаныс аралығы және синхронизациялау үлгісі болады. Сонымен, қолжеткізу коды және тақырып базалық жылдамдықпен беріледі, тек деректердің бір бөлігі ғана жоғарылатылған жылдамдықпен беріледі. Жоғары жылдамдықтағы кадрлар қысқа соңы белгісімен аяқталады.

Қарапайым кадр тақырыбының неден тұратынын қарастырайық. Адрес өрісі ақпаратқа арналған сегіз құрылғының бірін идентификациялайды. Тип өрісі жөнелтілетін кадр типін (ACL, SCO, сұрай немесе бос кадр), қателікті түзету тәсілін кадрдағы уақыт аралығының санын анықтайды. *F* (Flow – ағын) биті бағынышты түйіндерге қойылады және оның буферінің толғандығы жайлы хабарлайды. Бұл бит ағынды басқарудың қарапайым формасын қамтамасыз етеді. *A* (Acknowledgement мақұлдау) биті кадрмен бірге жөнелтілетін мақұлдауды білдіреді (ACK). *S* (Sequence тізбек) биті кадрларды нөмірлеу үшін қолданылады, бұл қайта тасымалдануларды анықтауға мүмкіндік береді. Бұл күтуі бар хаттама, сондықтан оған бір бит жеткілікті. Ары қарай, 8-биттік тақырыптың бақылау қосындысы орналасады. Барлық 18-биттік тақырып кадры үш рет қайталанады, нәтижесінде 4.33-суретте көрсетілгендей 54 битті құрайды. Қабылдаушы бетте, қарапайым схема әр биттің барлық үш көшірмесін сараптайды. Егер олар сәйкес келсе, сол қалпында қабылданады. Кері жағдайда бәрін көптік шешеді. Өздеріңіз көргендей, 10 битті тасымалдауға, нақты осы жағдайда 54 бит жұмсалады. Себебі өте қарапайым: бәріне ақы төлеу керек. Деректерді арзан, азқуатты (2,5 мВт), есептеу қабілеттілігі төмен құрылғылар көмегімен тасымалдау үшін артық төлеу керек.

ACL және SCO-кадрлар үшін деректер өрісінің түрлі форматтары қолданылады.

Базалық жылдамдықты SCO кадрында, кадрлар қарапайым жасалған: деректер өрісінің ұзындығы әрқашан 240 бит. Үш нұсқа болуы мүмкін: 80, 160 немесе 240 бит пайдалы ақпарат. Деректер өрісінің қалған биттері қателіктерді түзету үшін қолданылады. Ең сенімді версияда (80 бит пайдалы ақпарат) бір мазмұн (240 битті құрайды) кадр тақырыбы тәрізді үш рет қайталанады.

Біз сыйымдылықты келесідей есептей аламыз. Бағынышты түйіндер тек тақ уақыт аралығын қолдана алатын болғандықтан, оларға секундына 800 тиеді. Осыншама уақытты бас түйінде алады. Бір кадрда 80 бит пайдалы дерек тасымалданатын болғандықтан, бағынышты түйін арнасының сыйымдылығы 64 000 бит/с. Бас түйін арнасының сыйымдылығы дәл осындай. Бұл дыбыстық байланыстың жартылай дуплексті PCM-арнасын ұйымдастыруға жеткілікті (дәл осы себептен, жиілікті ауыстыру жылдамдығы ретінде секундына 16 000 секіріс таңдалып алынған). Бұл цифрлардың барлығы, екі бетке бірдей ақпаратты ең сенімді жөнелту кезінде, 64 000 бит/с жылдамдықты толық дуплекстік арна, физикалық деңгейде деректер тасымалдаудың қосынды жылдамдығы 1 Мбит/с болғанына қарамастан, пикожеліні толық қанағаттандырады.

Тиімділік 13% – шығындар нәтижесі тұрақтану кезінде сыйымдылықтың 41%, 20% тақырыпқа, 26% қайталап кодтауға жұмсалады. Бұл кемшілік жоғарылатылған жылдамдықтар мәнін және кадрды бір слоттан көп белгілейді.

Bluetooth жайлы бұдан да көп айтуға болады, мұнда оның бәрін тізуге мүмкіндік жоқ. Қызығушылық танытқандар Bluetooth 4.0 спецификаларын өз беттерінше оқып алуларына болады.

4.7. RFID

Біз MAC схемасын жергілікті желіден бастап, қалалық және дербес есептеу желілері үшін қарастырдық. Соңғы мысал ретінде біз компьютерлік желінің құрастырушысы саналмайтын, «төменгі класс» сымсыз құрылғылар категориясын қарастырамыз. Бұл біз *1.5.4-тарауда* сипаттаған белгілер мен санағыштар – **RFID (Radio Frequency Identification – радиожиліктік теңдестіру)**.

RFID технологиясы смарткарталар, үй жануарларына арналған импланттар, паспорттар, кітапхана кітаптары және т.б. коданылатын бірнеше формада кездеседі. Біз қарастыратын форма, 1999 жылы Массачусетск технологиялық институтының Auto-ID орталығында, **EPC (Electronic Product Code – тауардың электрондық коды)** құрастыру кезінде дамыған. EPC – штрихкодты алмастырушы, әлдеқайда көп ақпаратты көрсетеді және тіпті тікелей көрінбеген жағдайда да, электроника көмегімен 10 м арақашықтықтан салыстырып оқылады. Бұл технология, мысалы, ақпаратты оқу үшін салыстырып оқығыш жақын орналасуды қажет ететін, паспорттарда қолданылатын RFID-ден өзгеше. Қашықтықтан әрекеттесу мүмкіндігі, EPC-ды оқуды әлдеқайда маңызды етеді.

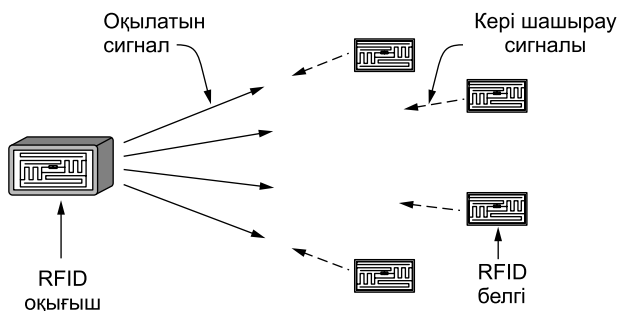
EPCglobal ұйымы 2003 жылы, дамыған AutoID-ды коммерцияландырып, RFID технологиясының Орталығын жасау үшін құрастырылды. Олардың әрекеттері

2005 жылы, Walmart компаниясы өзінің 100 ірі жабдықтаушыларын барлық тауарларды RFID белгісімен маркерлеулі талап еткен кезде, қолданыс тауып, дами бастады. Технологияның кең таралуына арзан басылатын штрихкодтармен бәсекелестік кедергі жасады. Алайда жаңа қолданыс саласы пайда болды, мысалы, жүргізуші куәлігі. Біз бұл технологияның, бейресми EPC Gen 2 (EPCglobal, 2008) деп аталатын, екінші буынына сипаттама береміз.

4.7.1. EPC Gen 2 құрылымы

RFID желісінің EPC Gen 2 архитектурасы 4.34-суретте көрсетілген. Оның екі негізгі компоненті бар: белгілер (тегтер) және салыстырып оқығыш. RFID белгілері – 96-биттік уникалды EPC идентификаторы және біраз жадысы бар, кішкене, арзан құрылғы. Жазу және оқу RFID-салыстырып оқығышымен жүргізіледі. Жады элементтің мекенжайы жайлы тарихты жазу үшін пайдаланылады, мысалы, ол жеткізілім жүйесімен қозғалғанда.

Белгілер көбіне этикеткаға ұқсас келеді, мысалы, дүкен сөресіндегі джинсыға қойылған этикетка. Этикеткалардың көп бөлігін, оларға басылған антенна алады. Ортасындағы кішкене нүкте – RFID интегралды схемасы. Басқа нұсқа – RFID белгісі объектіге енгізілуі мүмкін, мысалы, жүргізуші куәлігі. Екі жағдайда да белгінің ешқандай батареясы жоқ және жұмыс жасау үшін энергияны жақын арадағы RFID-салыстырып оқығышының радио тасымалдағышынан алады. Белгінің бұл түрін, басқа мүмкіндіктері үлкен батареясы барларынан ажырату үшін “Class 1” деп атайды.



4.34-сурет. RFID құрылымы

Салыстырып оқығыш – WiFi ұялы желілеріндегі базалық станциялар және қолжеткізу нүктелеріне ұқсас, жүйенің ақпараттық орталығы. Салыстырып оқығыштар белгілерге қарағанда әлдеқайда энергия сыйымды. Олардың өз энергия көздері бар. Көбіне әртүрлі антенналары бар және белгілердің мәлімдеме жіберуіне, алуына жауап береді. Оқу диапазонында әртүрлі, бірнеше белгілер болатындықтан, салыстырып оқығыштар көпшілік қолжеткізу есебін шешулері

керек. Бір кеңістікте, бір-бірімен шиеленіс тудыратын, бірнеше салыстырып оқығыштар болуы да мүмкін.

Салыстырып оқығыштың негізгі жұмысы – жақын арадағы белгіні инвентаризациялау, демек оның идентификаторын анықтау. Инвентаризациялау физикалық деңгей және белгіні теңдестіру хаттамасымен жүргізіледі. Олар жалпы түрде келесі тарауда сипатталған.

4.7.2. EPC Gen 2 физикалық деңгейі

Физикалық деңгей RFID-салыстырып оқығышы және белгілер арасында биттердің қалай тасымалданатынын анықтайды. Негізінен, біз ертеректе қарастырған, сымсыз сигналдарды жөнелту тәсілі қолданылады. АҚШ-та алмасу ISM-нің лицензияланбаған диапазонының 902-928 МГц жолақтарында жүргізіледі. Бұл жолақтар UHF (ЖЖҚ) диапазонына жатады, сондықтан сәйкес белгілер RFID-дың UHF-белгілері деп аталады. Салыстырып оқығыш, кем дегенде әр 400 мс сайын, сигналды арна бойымен тарату, бөгеттерге шек қою және нормативтік шарттарды орындау үшін жиіліктер секірісін орындайды. Биттерді кодтау үшін салыстырып оқығыш пен белгілер біз 2.5.2-бөлімде сипаттаған ASK амплитудалық модуляция формасын пайдаланады. Олар биттерді кезегімен жөнелтеді, сөйтіп мұнда арна – жартылай дуплексті.

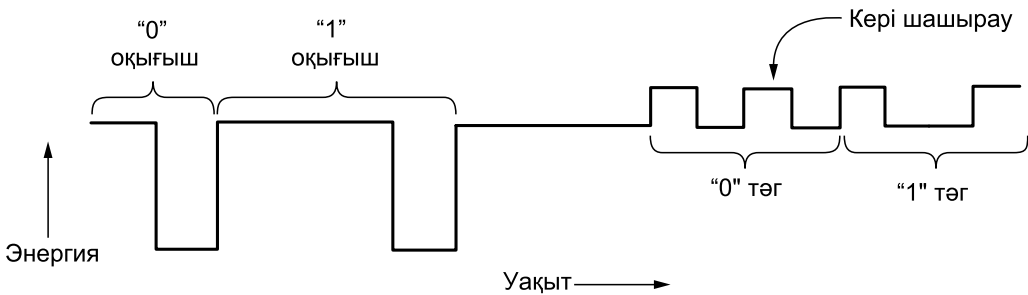
EPC Gen 2 физикалық деңгейінің біз қарастырған басқа физикалық деңгейлерден екі негізгі артықшылық бар. Алдымен, коммуникацияны салыстырып оқығыштың немесе белгінің жүзеге асыратындығына тәуелсіз, сигналды үнемі салыстырып оқығыш жөнелтеді. Әрине, салыстырып оқығыш сигналды белгіге биттерді жөнелту үшін жібереді. Ал белгілер салыстырып оқығышқа биттерді жөнелту үшін, ол биттерді тасымалдамайтын бекітілген тасушы сигналын жібереді. Белгілер бұл сигналдарды өзінің жұмысына қажет энергия үшін жинайды. Сонымен белгі бірінші болып тасымалдай алмайды. Деректер жөнелту үшін белгі өзінің тәртібін өзгертеді – ол салыстырып оқығыштан келген сигналды, нысанаға қайтып оралатын радар сигналындай шашыратады немесе оны жұтады.

Бұл тәсіл **кері шашырау (backscatter)** деп аталады. Ол, біз осы уақытқа дейін қарастырған, жөнелтуші мен қабылдаушы ешуақытта екеуі бірмезгілде тасымалдамайтын, басқа сымсыз жағдайлардан ерекше. Кері шашырау – белгінің салыстырып оқығыш анықтай алатын, өзінің әлсіз сигналын жөнелтудің ең төмен энергетикалық тәсілі. Салыстырып оқығыш келген сигналды кері шифрлау үшін, ол бастапқы өзі жіберген сигналды филтрден өткізуі қажет. Белгі сигналы әлсіз болғандықтан, белгілер сигналды тек төменгі жылдамдықпен жөнелте алады және басқа белгілерден сигнал ала алмайды немесе басқа белгілер тасымалдауларын анықтай алмайды.

Екінші айырмашылық, төмен қуатпен жұмыс жасайтын және өте арзан белгілер орындай алатын, қарапайым модуляциялар формасы қолданылады. Салыстырып оқығыш деректерді белгіге жөнелту үшін, амплитуданың екі деңгейін

қолданады. 0 және 1 биттері, салыстырып оқығыштың төменгі қуат кезеңі алдында неше уақыт күтетіндігіне қарай анықталады. Белгі төменгі қуаттылық кезеңдері арасындағы уақытты өлшеп, преамбула кезінде өлшенген уақытпен салыстырады. 4.35-суретте көрсетілгендей «1» «0-ге» қарағанда ұзынырақ.

Белгі жауабы, сигналдағы импульстер сериясын құрастыратын, оның бекітілген аралықта кері шашырату қалып-күйінің өзгеруінен тұрады. Әрбір 0 немесе 1-ді кодтау үшін сенімділік қажеттілігіне байланысты импульстің бірден сегіз кезеңіне дейін пайдалануға болады. 4.35-суретте көрсетілген екі импульс кезеңінде кодтау мысалындай, 1-ге өту, 0-ге қарағанда біршама аз.



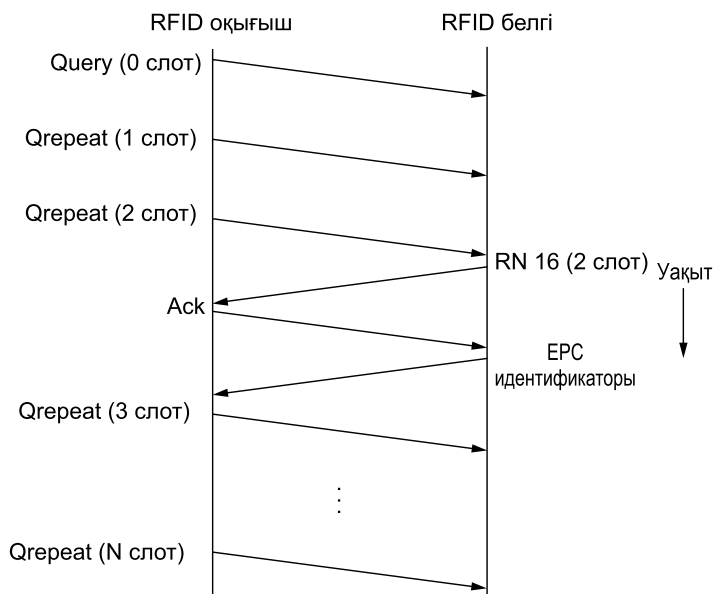
4.35-сурет. Салыстырып оқығыш және белгіден кері шашырату сигналдары

4.7.3. EPC Gen 2 белгілерін теңдестіру деңгейі

Жақын арадағы белгілерді инвентаризациялау үшін, салыстырып оқығыш олардың әрқайсысынан белгі идентификаторы жазылған мәлімдеме алуы керек. Бұл жағдай – жалпы алғанда белгілер саны белгісіз, көпшілік қолжеткізу есебі. Салыстырып оқығыш барлық белгілерден өз идентификаторларын жөнелтуді сұрап, кеңтаратылымды сұраныс жібере алар еді. Алайда, белгілердің бірден жіберген жауаптары классикалық Ethernet станцияларындағыдай қақтығысқа әкелер еді.

Бұл тарауда, біз көпшілік қолжеткізу есебіне қатысты көптеген тәсілдерді көрдік. Қарастырып отырған, белгілердің бір-бірін ести алмайтын жағдайына ең жақыны, біз ең алғашқы қарастырылған дискретті ALOHA хаттамасы. Бұл хаттама RFID Gen 2-де қолдануға бейімделген.

Тегтерді теңдестіру үшін пайдаланатын мәлімдемелер тізбегі 4.36-суретте көрсетілген. Бірінші слотта (слот 0) салыстырып оқығыш, үрдісті бастау үшін *Query* мәлімдемесін жібереді. Әр *Repeat* мәлімдемесі келесі слотқа жіберіледі. Салыстырып оқығыш белгілерге, жөнелтуді кездейсоқ бастау үшін слоттар диапозонын хабарлайды. Диапазонды қолдану міндетті, себебі салыстырып оқығыш үрдісті бастағанда белгілерді синхронизациялайды. Ethernet станцияларынан ерекшелігі, белгілер таңдап алынған уақыттағы мәлімдемемен оянбайды.



4.36-сурет. Белгілерді теңдестіру үшін мәлімдемелермен алмасу мысалы

Белгілер жауап беру үшін кездейсоқ слотты таңдайды. 4.36-суретте белгі 2 слотта жауап береді. Алайда жауап берерде белгілер өз идентификаторларын бірден жібермейді. Оның орнына олар *RN16* мәлімдемесінде 16-биттік кездейсоқ сан жөнелтеді. Егер қақтығыс жоқ болса, салыстырып оқығыш бұл мәлімдемені алады және өз АСК мәлімдемесін жібереді. Осы этапта белгі слотты алып өз EPC идентификаторын жөнелтеді.

Алмасу осы тәсілмен жүреді, себебі EPC идентификаторлары – ұзын, сондықтан олар орналасқан мәлімдемелер қақтығысы қымбат болар еді. Оның орнына, белгі өз идентификаторын жөнелту үшін слотты қауіпсіз қолдана алатынын тексеріп, қысқа алмасуды пайдаланады. Идентификаторы ойдағыдай жөнелтілгеннен кейін, басқа белгілер теңдестірілу үшін белгі жаңа *Query* мәлімдемелеріне жауап қайтаруды уақытша доғарады.

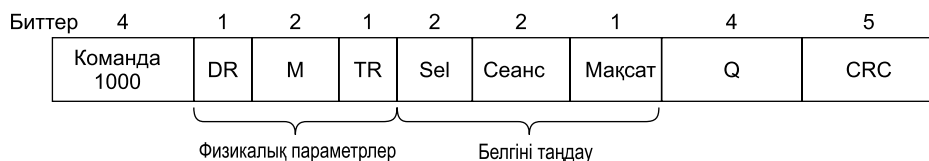
Салыстырып оқығыштар үшін басты мәселе – қақтығыстарды болдырмайтын слоттар санын анықтау және өнімділікке нұқсан келтірмес үшін тым көп слоттарды қолданбау. Бұл үйлестіру Ethernet-тегі екілік экспоненциалды ұстамдыққа ұқсас. Егер салыстырып оқығыш тым көп жауапсыз слоттарды немесе қақтығысты слоттарды көрсе, белгілер жауап беретін слоттар диапазонын кішірейтіп немесе үлкейту үшін *QAdjust* мәлімдемесін жіберуі мүмкін.

RFID салыстырып оқығышы белгілермен басқа да операцияларды орындай алады. Ол инвентаризацияны орындамас бұрын белгілер жиынын таңдай алады, мысалы, жейделердегі емес, тек джинсылардағы белгілер жауабын жинау. Сонымен бірге, салыстырып оқығыш теңдестірілген белгілерге деректер жаза алады.

Бұл функция сауда нүктесі жайлы мәліметті жазу немесе басқа да қажет ақпаратты жазу үшін қолданылады.

4.7.4. Белгілерді теңдестіру мәліметтерінің форматы

Сұраныс мәліметінің форматы салыстырып оқығыштан белгіге жіберілетін мәлімдеме мысалы ретінде, 4.37-суретте көрсетілген. Мәлімдеме жинақы, себебі ақпарат тасымалдау жылдамдығы 27 Кбит/с-тан 128 Кбит/с-қа дейін шектелген. Команда өрісінде 1000 коды жазылған, бұл мәлімдемені *Query* ретінде теңдестіреді.



4.37-сурет. Query мәлімдемесінің форматы

DR, *M* және *TR* жалаушалары, салыстырып оқығышқа және белгі жауаптарын жөнелту үшін физикалық деңгей параметрлерін анықтайды. Мысалы, жауап жылдамдығы 5 Кбит/с және 640 Кбит/с аралығында орнатылуы мүмкін. Бұл жалаушаларды біз егжей-текжейлі қарастырмаймыз.

Одан кейін, жауап беруші белгілерді таңдайтын *Sel*, *Сеанс* және *Мақсат* үш өрісі орналасқан. Сонымен бірге, салыстырып оқығыштар тәрізді белгілердің идентификаторлар ішкі жиынын таңдау мүмкіндігі бар. Белгілер төрт параллель сеанстарды қадағалап, осы сеанстарда өздерінің теңдестірілгендігін анықтай алады. Сонымен, бірнеше салыстырып оқығыштар әртүрлі сеанстарды пайдаланғанда, қиылысатын аймақтарда әрекет ете алады.

Келесі, команданың ең маңызды параметрі, *Q* орналасқан. Бұл өріс, белгілер жауап беретін, $2^Q - 1$, слоттар диапазонын анықтайды. Ең соңында, мәлімдеме өрісін қорғау үшін CRC өрісі орналасқан. Ол 5 бит орын алады, ол біз қарастырған көптеген CRC-тен қысқа. Бірақ *Query* мәлімдемесі де көптеген дестелерден қысқа.

Белгіден салыстырып оқығышқа жөнелтілетін мәлімдемелер қарапайым. Жағдайды салыстырып оқығыш басқаратын болғандықтан, ол өзінің әр тапсырысына қандай мәлімдеме күту керек екендігін біледі. Белгілер жауабы EPC идентификаторы тәрізді деректерді әкеледі.

Бастапқыда белгілер тек теңдестіру үшін қолданылды. Уақыт өте олар өсіп кішігірім компьютерге ұқсай бастады. Кейбір зерттеуші белгілердің датчигі бар, олар деректерді жинап, өңдеу үшін кішігірім программаларды орындай алады (Sample және басқалар, 2008). Бұл технологияға көзқарастың бірі – материалды дүниенің объектілерін Интернетпен байланыстыратын «Интернет заттар» (Welbourne және басқалар, 2009; Gershenfled және басқалар, 2004).

4.8. АРНАЛЫҚ ДЕҢГЕЙДЕГІ КОММУТАЦИЯЛАУ

Көптеген ұйымдардың, өзара байланыстыруды қажет ететін, бірнеше жергілікті желілері бар. Мүмкін оларды бір үлкен жергілікті желіге біріктірген ыңғайлы шығар? Мұны, көпір (bridges) деп аталатын, арнайы құрылғылардың көмегімен жүзеге асыруға болады. Біз 4.3.4-тарауда сипаттаған Ethernet коммутаторлары – көпірдің қазіргі атауы. Олар бірнеше ЖЕЖ-ін бір үлкен және жоғары жылдамдықты желіге біріктіру үшін классикалық Ethernet және Ethernet концентраторларынан тыс функционалдықты қамтамасыз етеді. Біз «көпір» және «концентратор» ұғымдарын кезек-кезек қолданатын боламыз.

Көпірлер арналық деңгейде жұмыс істейді. Олар осы деңгей кадрларындағы адресстерді сараптап, соған сәйкес маршруттауды орындайды. Көпірлер, кадрларда берілетін деректерді өздері зерттемейтін болғандықтан, олар IP дестелерді де, сонымен бірге басқа түрдегі дестелерді де, мысалы, AppliTalk дестелері. *Маршрутауыштың (routres)* көпірлерден ерекшелігі олар дестелердегі адресстерді сараптап, осы ақпарат негізінде жұмыс істейді, сондықтан олар тек өздеріне арналған хаттамалармен жұмыс істей алады.

Бұл тарауда біз көпірлер жұмысын және олардың көмегімен бірнеше физикалық жергілікті желілерді бір жергілікті желіге біріктіру жолдарын қарастырамыз. Сонымен бірге, кері есепті де қарастырамыз – бір физикалық жергілікті желіні, **виртуалды ЖЕЖ (ВЖЕЖ – VLAN, Virtual LAN)** деп аталатын бірнеше логикалық жергілікті желілерге бөлу. Екі технология да желілерді басқаруда пайдалы илгіштікті ұсынады. Көпірлер, коммутаторлар және ұқсас тақырыптар жайлы егжей-тегжей ақпаратты Seifert және Edwards, 2008 және Perlman, 2000 табуға болады.

4.8.1. Көпірлерді қолдану

Көпірлерді талқылауға кіріспес бұрын, олар қолданылатын бірнеше жиі кездесетін жағдайды қарастырайық. Ұйымдарда бірнеше жергілікті желінің пайда болуының алты себебін атап өтейік.

Біріншіден, көптеген университет және корпорациялар бөлімдерінің, дербес компьютерлерді, серверлерді және принтер тәрізді құрылғыларды байланыстыратын, өздерінің жергілікті желілері бар. Әртүрлі факультеттер мен бөлімдердің мақсаттары әртүрлі болғандықтан, жергілікті желіге біріктіру көбіне факультеттер және бөлімдер бойынша жүргізіледі және оларды көрші желінің қалай жасалғандығы қызықтырмайды. Алайда, ерте ме кеш пе олар өзара әрекеттесу керек, сондықтан оларға көпір қажет болады. Бұл мысалда иелерінің автономдығы себебінен бірнеше жергілікті желі пайда болды.

Екіншіден, ұйымдар бір-бірінен алшақ орналасқан бірнеше ғимаратта болуы мүмкін. Орталық коммутаторға бірнеше кабель тартқанша, алдымен бірнеше жеке жергілікті желілер құрастырып, кейіннен оларды көпірлер және үлкен

арақашықтыққа арналған оптогалшықты кабельдер көмегімен бір желіге біріктіру арзанырақ болуы мүмкін.

Кабельдерді жүргізу арзан болғанымен олардың ұзындықтары шектеулі (мысалы, Gigabit Ethernet есілген пары үшін 200 м). Тым ұзын кабельдермен, ары-бері тасымалдау кідірістеріне немесе сигналдың әлсізденуіне байланысты желі жұмыс істемейді. Жалғыз шешім, толық физикалық арақашықтықты қамту үшін, ЖЕЖ бөліп, оның бөліктерін байланыстыратын көпірлер орнату.

Үшіншіден, кейде жүктелуді азайту үшін бір физикалық жергілікті желіні өзара көпірмен байланысқан, бірнеше логикалық жергілікті желілерге бөлу қажет болады. Мысалы, көптеген ірі университеттерде студенттер мен қызметкерлер жұмыс жасайтын, мыңдаған жұмыс станциялары желіге біріккен. Ұйымдарда мыңдаған қызметкерлер жұмыс жасауы мүмкін. Тым үлкен масштаб барлық жұмыс станцияларын бір жергілікті желіге біріктіруге мүмкіндік бермейді – компьютерлер саны кез келген Ethernet концентраторындағы порттардан көп, станциялар саны бір классикалық Ethernet-тен де көп.

Алайда, екі жеке ЖЕЖ-нің сыйымдылығы, біреуге қарағанда әлдеқайда көп. Көпірлер осы сыйымдылықты сақтай отырып, ЖЕЖ-ін біріктіруге мүмкіндік береді. Басты ой, әр ЖЕЖ-сі ең үлкен жылдамдықпен жұмыс жасау үшін трафикті оны қажет етпейтін порттарға жібермеу. Мұндай тәртіп, сонымен бірге сенімділікті арттырады. Себебі, бір ЖЕЖ-гі үздіксіз қоқыс ағынын шығаратын, нұқсаны бар түйін, бүкіл ЖЕЖ-ін толтырып тастауы мүмкін. Нені жөнелту, нені жөнелтпеу керек екенін шеше отырып, көпір бүкіл жүйені бір дұрыс емес түйіннің қиратуынан сақтау үшін, ғимараттағы өрт есігі қызметін атқарады.

Бұл артықшылықты ең тиімді жолмен қолдану үшін көпірлер толығымен ашық болуы тиіс. Көпірді сатып алып, оларға ЖЕЖ-нің кабельдерін қосып, барлығы бірден жақсы жұмыс жасайтындай мүмкіндік болу керек.

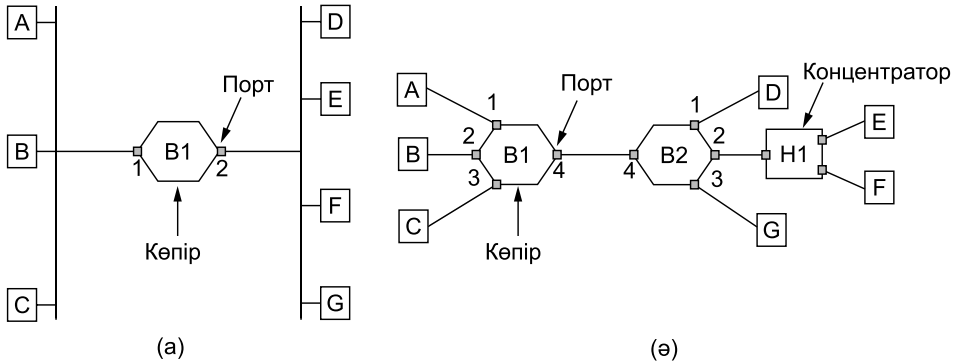
Бұның барлығы, аппаратураны, коммутаторлар адресінің бапталуын, программалық жабдықтамаларды немесе конфигурациялық кестелерді және т.б. ешбір өзгертпей жүзеге асыруы тиіс. Сонымен бірге, қолданыстағы ЖЕЖ-нің жұмысына көпір мүлдем тиіспеуі керек. Көпір шалып өткен станцияларды алатын болсақ, олар көпірі бар ЖЕЖ-нің бір бөлігі ме жоқ па, ешқандай көрінерлік айырмашылық болмауы керек. Станцияларды көпірі бар ЖЕЖ-не көшіріу, жалғыз ЖЕЖ-не көшіргендей жеңіл болуы тиіс.

Ғажайып, бірақ ашық көпірлер жасауға болады. Екі алгоритм пайдаланылады: дәлдікке қарсы оқыту алгоритмі, қажет емес жердегі трафикті тоқтату үшін; және байланыстырушы ағаш алгоритмі, коммутаторларды байланыстыру кезінде пайда болатын қайталануларды тоқтату үшін. Енді, ғажайыптың қалай іске асқандығын оқу үшін, осы алгоритмдерді кезек-кезек қарастырамыз.

4.8.2. Үйренуші көпірлер

4.38-суретте, екі нұсқа үшін, көпір арқылы біріктірілген екі ЖЕЖ-нің то-

пологиясы көрсетілген. Сол жақта, классикалық Ethernet тәрізді, екі көпнүктелі ЖЕЖ-ге, екі желіге де кіретін, арнайы станция – көпір қосылады. Оң жақта, ЖЕЖ концентраторы бар екі нүктелі кабельмен біріктірілген. Көпір – станциялар және концентраторлар қосылған құрылғылар. Егер ЖЕЖ технологиясы – Ethernet, онда көпірлер коммутатор деген атпен танымал.



4.38-сурет. Көпірлер: а – екі көп нүктелі ЖЕЖ біріктіретін көпір; б – жеті станцияны екі нүктелі схема бойынша біріктіретін көпір (және концентратор)

Көпірлер классикалық Ethernet қолданыста болған кезде дамыған, сондықтан олар *4.38 а-суретіндегідей*, көп нүктелі кабель топологиясында жиі көрсетіледі. Алайда қазір кездесетін барлық топологиялар екі нүктелі кабель және коммутатордан тұрады. Көпір екі жағдайда да бірдей жұмыс жасайды. Көпір портына біріктірілген барлық станциялар, басқа порттың қақтығысынан ерекше, сол домен қақтығысына тиесілі. Егер классикалық Ethernet-тегідей станция бірден артық болса, концентратор немесе жартылай дуплексті арна кадрларды жөнелту үшін CSMA/CD хаттамасын қолданады.

Алайда біріктірілген ЖЕЖ-нің құрылымында ерекшелік бар. Көп нүктелі ЖЕЖ-ін біріктіру үшін көпір оның әрқайсысына, *4.38 а-суретінде* көрсетілгендей, арнайы станция ретінде қосылған. Екі нүктелі ЖЕЖ-ін біріктіру үшін, концентраторлар не көпірмен байланысқан немесе өнімділікті ұлғайту үшін көпірмен алмастырылған. *4.38 б-суретінде* бір концентратордан басқалары алмастырылған.

Бір көпірге, сонымен бірге әртүрлі кабельдерді біріктіруге болады. Мысалы, *4.38 б-суретіндегі* B1-ді B2 көпірімен біріктіретін кабель ұзын оптоалшықты арна болуы мүмкін. Ал көпірді станциялармен біріктіретін кабель қысқа есілген пар торапы болуы мүмкін. Мұндай орналасу ЖЕЖ әртүрлі жағдайларда біріктіру үшін пайдалы.

Енді көпірлерде не болып жатқанын қарастырайық. Әр көпір түсініксіз режимде жұмыс істейді, демек өзінің әр портына жалғанған станциялар жіберген әр кадрды қабылдайды.

Кадр пайда болған кезде көпір оны не елемей керек, не басқа жаққа жөнелту

керек, егер басқа жаққа жөнелтсе, қандай портқа екенін шешу керек. Таңдау қабылдаушы адресі негізінде жүргізіледі.

Мысалы, *4.38 а-суретіндегі* топологияны қарастырайық. Егер А станциясы В-ға кадр жөнелтсе, онда В1 көпірі кадрды 1 портан алады. Бұл кадрдан, ары қарай әбiгер болмас үшін, бiрден бас тарту керек, себебi ол қажет портта тұр. Ендi 4.38 ә-суретiндегi топологияда, А станциясы D-ға кадр жөнелтгi делiк. В1 көпiрi кадрды 1 портта қабылдап, 4 портқа шығарады. Содан кейiн, В2 көпiрi кадрды өзiнiң 4 портында қабылдап, 1 портында шығарады.

Бұл схеманы жүзеге асырудың ең қарапайым тәсiлi, көпiрдiң үлкен (хэш) кестесi болу керек. Кестеде мүмкiн деген барлық басқа орындар және олардың қандай портқа тиесiлi екендiгi аталып өтiлуi тиiс. Мысалы, *4.38 ә-суретте* В1 кестесi D-ны 4 портқа тиесiлi деп атар едi, сөйтiп, барлық В1 D-ға келген кадрларды қандай портқа жөнелту керек екенiн бiлер едi. Онда, iс жүзiнде тасымалдау, В2-ге келiп жеткен кадр В1 үшiн қызығушылық тудырмаған кезде жүргiзiлер едi.

Көпiрлер алғаш iске қосылған кезде олардың барлық хэш-кестелерi бос болады. Ешбiр көпiр адресаттардың қайда орналасқандығын бiлмейдi, сондықтан олар толтыру (flooding) алгоритмiн пайдаланады: адресi белгiсiз әрбiр кадр бiрден барлық бағытта жiберiледi, сонымен бiрге келген жағына. Уақыт өте көпiрлер адресаттардың орналасуын бiлетiн болады. Қабылдаушысы белгiлi кадр бiрден қажет желiге жiберiледi және кестеге толтырылмайды.

Ашық көпiрлердi оқыту үшiн **дәлдiкке қарсы оқыту (backward learning)** деп аталатын алгоритм қолданылады. Жоғарыда айтылғандай, көпiрлер талғамсыз режимде жұмыс iстейдi, сондықтан олар өзiнiң барлық порттарына жiберiлген кадрларды көредi. Жөнелтушiлер адресiн қарап отырып, олар қай станцияның қандай порт арқылы қолжетiмдi екенiн анықтай алады. Мысалы, егер *4.38 ә-суреттегi* В1 көпiрi 3 порт арқылы өзiне С станциясынан келген кадрды көрсе, онда ол С станциясының 3 порт арқылы қолжетiмдi екенiн түсiнедi және өз кестесiне сәйкес жазбаны енгiзедi. Сондықтан В1 станциясына басқа кез келген порттан келген, С станциясына арналған кадр бiрден 3 портқа жөнелтiледi.

Жеке станциялар және көпiрлердiң қосылуына, өшуiне және ауысуына байланысты желi топологиясы өзгеруi мүмкiн. Динамикалық топологияны қолдау үшiн кестеде станция және желi нөмiрiнен басқа, кадрдың станциядан келген уақыты да көрсетiледi. Жаңа кадрларды алған кезде уақыт жанартылады. Сөйтiп, әр станциядан соңғы келген кадр уақыты белгiлi болады.

Белгiлi бiр уақыт аралығында процесс хэш-кестенi сканерлеп, бiрнеше минут бұрын жазылған барлық жазбаларды өшiредi. Сондықтан, егер қандай да бiр компьютер өшiрiлiп, жаңа орынға апарылып қайта қосылса, ол бiрнеше минуттан кейiн алғашқыдай жұмыс iстей алады және ол үшiн ешқандай арнайы iс-әрекеттi орындау қажет емес. Мұндай алгоритмнiң екiншi бетi, бiрнеше минут үнсiздiкте болған, қандай да бiр станцияға жөнелтiлген кадрды толтыру тәсiлi бойынша тағы да барлық бағытта жөнелту керек болады.

Енген кадрды өңдеу процедурасы ол енген портқа (жiберушi порт) және

жөнелтілетін адреске (тағайындалған адрес) байланысты. Процедура келесідей орындалады:

1. Егер жіберуші порт және тағайындалған адрес порты сәйкес келсе, кадр ескерілмейді.
2. Егер жіберуші порт және тағайындалған адрес порты сәйкес келмесе, кадр тағайындалған портқа жөнелтіледі.
3. Егер тағайындалған адрес порты белгісіз болса, толтыру алгоритмі қолданылып, кадр жіберуші порттан басқа барлық порттарға жөнелтіледі.

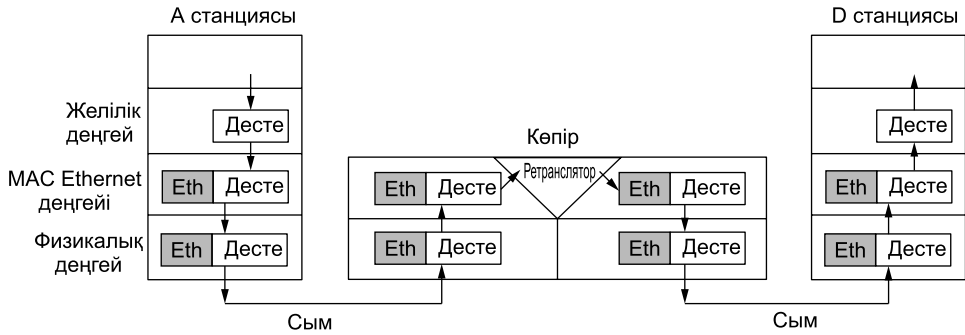
Сіздер бірінше жағдай екі нүктелі торапта орын алуы мүмкін бе деп сұрақ қоюыңыз мүмкін. Жауап – егер компьютерлер тобын көпірмен байланыстыру үшін концентратор қолданылса, бұл жағдай орын алуы мүмкін. Мысал, 4.38 *а-суретте* көрсетілген, E және F $H1$ концентратормен байланысқан, өз кезегінде $H1$ $B1$ көпірімен байланысқан. Егер E F -ке кадр жөнелтсе, онда концентратор оны $B2$ жөнелтеді, F -те дәл осылай әрекет етеді. Концентраторлар нақты осыны орындайды – олар, бір портта енгізілген кадр басқа барлық портта шығатындай етіп, барлық порттарды бірге біріктіреді. Кадр тағайындалған адреске жету үшін дұрыс шығыс порты болып саналатын, 4 порт арқылы $B2$ жетеді. $B2$ көпірі жай ғана кадрдан бас тартуы керек.

Бұл алгоритм келген барлық кадрларға қолданылу керек болғандықтан, ол әдетте арнайы СБИС чип арқылы іске асырылады. Чип бірнеше микросекунд ішінде іздеу жүргізеді және кесте жазбаларын жаңартады. Көпірлер тек MAC адресіне қарайтын болғандықтан, кадрды қалай жөнелтуді шешу үшін, жөнелту тағайындалған адресінің тақырып өрісі пайда болған кезде, кадрдың басқа бөлігін күтпей (әрине, егер торап қолжетімді болса), бастаған дұрыс. Бұл схема, көпір арқылы өтуді күту уақытын, сонымен бірге көпірдің буферлейтін кадрлар санын қысқартады. Мұндай тәсіл **дестелерді буферлемей коммутациялау (cut-through switching)** немесе **арналарды коммутациялау тәсілімен маршруттау (wormhole routing)** деп аталады және аппараттық құрылғылар көмегімен іске асырылады.

Арна деңгейіндегі құрылғы болудың қандай екенін түсіну үшін, біз көпір жұмысына хаттамалар стегі тұрғысынан қарай аламыз. 4.38 *а-суретінің* ЖЕЖ – Ethernet конфигурациясындағы, A станциясынан D станциясына жөнелтілген кадрды қарастырайық. Кадр бір көпір арқылы жүреді. Өңдеу хаттамалар стегінің түрі 4.39-*суретте* көрсетілген.

Десте жоғары деңгейден келіп, MAC Ethernet деңгейіне түседі. Ол Ethernet тақырыбына (сонымен бірге суретте көрсетілген «соңы» белгісіне ие болады). Бұл кадр физикалық деңгейге беріледі, кабель арқылы шығып, көпірмен қабылданады.

Көпірде кадр физикалық деңгейден MAC Ethernet деңгейіне беріледі. Бұл деңгей, станциядағы MAC Ethernet деңгейіне қарағанда өңдеуді кеңейтеді. Ол кадрды, MAC деңгейінің шеңберінде, ретрансляторға жібереді. Көпірдің ретрансляция функциясын тек MAC Ethernet тақырыбы, кадрды қалай өңдеу керек екендігін анықтау үшін пайдаланады. Біздің жағдайымызда ол кадрды MAC Ethernet деңгейінің D станциясына жетуді пайдаланылатын портын жібереді, ары қарай кадр өз жолын жалғастырады.

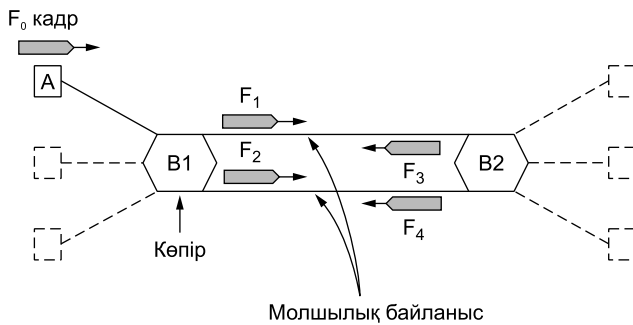


4.39-сурет. Көпірде өңделетін хаттамалар

Жалпы жағдайда, ретрансляторлар кейбір деңгейде осы деңгей үшін тақырыпты қайта жаза алады. Виртуалды ЖЕЖ жақында мысалды қамтамасыз етеді. Көпір еш жағдайда кадр ішіне қарамайды және IP-дестенің не әкетіп бара жатқанын білмеу керек. Бұл көпір өңдеу үшін қажет емес және ол хаттамалардың иерархиялық ұсынысын бұзар еді. Сонымен бірге k порты бар көпірдің физикалық және MAC-деңгейінің k данасы бар. Біздің қарапайым мысалымызда $k=2$.

4.8.3. Байланыстырушы ағаш көпірлері

Сенімділікті ұлғайту үшін көпірлер арасында молшылық байланысын қолдануға болады. 4.40-суретте екі көпір арасындағы екі параллель байланыс көрсетілген. Бұл конструкция, егер бір байланыс бұзылса, желі өзара байланыса алмайтын екі компьютерлер тобына бөлінбейтігіне кепілдік береді.



4.40-сурет. Екі параллель байланысты көпірлер

Мұндай шешім топологияда сақина пайда болатындықтан, кейбір қосымша мәселені туындатады. Аталған мәселені иллюстрациялайтын мысал ретінде А станциясының жөнелткен, тағайындалған адресі алдын ала белгісіз кадрын

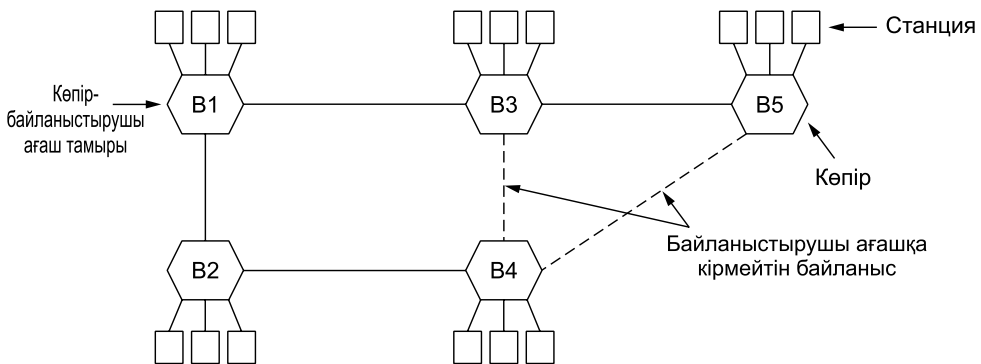
қарастырамыз (4.40-сурет). Әр көпір әдеттегі ереже бойынша, тағайындалушысы белгісіз кадрға толтыру тәсілін қолданады. Біздің мысалымызда F_0 кадры А портынан В1 көпіріне келеді. Көпір бұл кадрдың көшірмелерін өзінің барлық порттарына жібереді. Біз тек В1 мен В2-ні байланыстыратын порттарды қарастырамыз (кадр басқа да порттарға жіберіледі). В1-ден В2-ге екі байланыс бар болғандықтан, В2-ге екі көшірме келеді. Олар 4.40-суретте F_1 және F_2 ретінде көрсетілген.

Біраз уақыттан кейін В2 кадрларды алады. Әрине, ол F_1 және F_2 бірінен соң бірі жіберілген, бір кадрдың көшірмесі екендігін білмейді (біле алмайды да). Сондықтан В2 F_1 -дің көшірмесін барлық порттарға жөнелтеді. Сөйтіп, F_3 және F_4 кадрлары пайда болады және олар екі байланыс арқылы В1-ге кері қайтарылады. В1 көпірі тағайындалушы адресі белгісіз, екі жаңа кадрды көреді де, оларды қайта көшіреді. Цикл шексіз қайталанады.

Мәселенің шешімі – көпірлер арасындағы байланысты желілердің нақты байланыстырушы ағаш (spanning tree) топологиясына келтіру. Нәтижесінде, көпірлер арасындағы кейбір байланыстар, нақты топологияның ішкі жиыны болып саналатын, жалған сақинасыз топология құрастыру үшін, ескерілмей қалады.

Мысалы, 4.41-суретте, өзара байланысқан және әрқайсысының байланысқан өз станциялары бар, бес көпір көрсетілген. Әр станция тек бір көпірмен байланысады. Көпірлер арасында кейбір молшылық байланысы бар, сондықтан барлық байланыс қолданылатын болса, кадрлар циклға жіберіледі.

Бұл жүйені граф түрінде көрсетуге болады. Көпірі граф түйіні, ал олардың арасындағы байланыс – қабырғасы. Мұндай графты, 4.41-суретте пунктир сызықпен көрсетілген байланыстарын алып тастау арқылы, анықтама бойынша циклі жоқ, байланыстырушы ағашқа дейін кемітуге болады. Алынған байланыстырушы ағашта, әр екі станция арасында тек бір жол бар. Көпірлер өзара байланыстырушы ағаш топологиясы жөнінде келіскеннен кейін, барлық коммуникация тек осы ағаш бұтақтары бойымен жүргізіледі. Жөнелтушіден қабылдаушыға дейін тек бір ғана жол болғандықтан, қайталану болмайды.



4.41-сурет. Бес көпірді байланыстыратын, байланыстырушы ағаш. Пунктир сызықпен, байланыстырушы ағашқа кірмейтін байланыс көрсетілген

Байланыстырушы ағашты құрастыру үшін, көпірлер келесі таратылған алгоритмді қолданады. Әр көпір белгілі бір кезеңде өзінің барлық порттары арқылы көршілеріне конфигурациялық мәлімдеме жібереді. Басқа көпірлерден алынған мәлімдемені төменде айтылғандай өңдейді. Бұл мәлімдеме ары қарай жөнелтілмейді, себебі оның мақсаты – кейіннен тасымалдау үшін пайдаланылатын ағаш құрастыру.

Көпірлер алдымен, байланыстырушы ағаштың тамыры болатын бір көпірді таңдауы керек. Бұл таңдауды жасау үшін олардың әрқайсысы конфигурациялық мәлімдемеде өзінің MAC-адресіне негізделген идентификаторға, өзі тамыр ретінде санайтын көпір идентификаторын қосады. MAC-адресстерді құрастырушы тағайындаған және бүкіл әлемде бірегейлік кепілдігі берілген. Сондықтан бұл идентификаторлар кепілді түрде әралуан және ыңғайлы. Көпірлер тамыр ретінде идентификаторы ең кіші көпірді таңдайды. Жеткілікті мәлімдеме санымен алмасқаннан кейін, жаңалықты тарату үшін барлық көпірлер қандай көпірдің тамыр болатындығы жайлы келіседі. *4.41-суретте* В1 көпірінің идентификаторы ең кішісі, сондықтан ол тамыр болып тағайындалады.

Содан кейін, тамырдан әр көпірге дейінгі ең қысқа жол жасалады. *4.41-суретте* В2 және В3 көпірлеріне В1-ден бірден, бір қадамнан кейін жетуге болады, бұл ең қысқа жол болып саналады. В4 көпіріне екі қадамнан кейін жетуге болады, не В2 арқылы немесе В3 арқылы. Бұл түйінді үзіп тастау үшін, идентификаторы кіші көпір таңдалады, сөйтіп В4-ке В2 арқылы жетуге болады. В5 көпіріне В3 арқылы екі қадамнан кейін жетуге болады.

Осы қысқа жолдарды табу үшін көпірлер конфигурациялық мәлімдемеге тамырға дейінгі арақашықтықты қосады. Әр көпір тамырға дейінгі ең қысқа жолды есте сақтайды. Содан кейін көпірлер ең қысқа жолдың бөлігі болып саналмайтын порттарды өшіреді.

Ағаш барлық порттарды қамтығанымен, ағашта барлық байланыстың болуы (немесе тіптен көпірдің) міндет емес. Бұл порттарды өшіру, циклдің пайда болуының алдын алу үшін, желідегі кейбір байланыстарды жояды. Топологиядағы өзгерістерді анықтап және ағаш құрылымын жаңарта отырып, ағаш құрастыру алгоритмі үнемі жұмыс жасайды.

Байланыстырушы ағаш құрастырудың таратылған алгоритмінің авторы Радья Перлман (Radia Perlman). Оның мақсаты жергілікті желіні циклсыз байланыстыру мәселесін шешу болатын. Бұл есепті шешу үшін оған бір апта берілген болатын, алайда ол есепті бір күнде шешті, сондықтан оның мәселені өлең жолымен жеткізуге біраз уақыты қалды (Perlman, 1985).

*I think that I shall never see
A graph more lovely than a tree.
A tree whose crucial property
Is loop-free connectivity.
A tree which must be sure to span.
So packets can reach every LAN.*

*First the Root must be selected
By ID it is elected.
Least cost paths from Root are traced
In the tree these paths are placed.
A mesh is made by folks like me
Then bridges find a spanning tree.*

Байланыстырушы ағаш алгоритмі IEEE 802.1D ретінде стандартталған және көптен бері қолданыста. Ол 2001 жылы топология өзгергеннен кейін, жаңа байланыстырушы ағашты жылдамырақ табу мақсатында қайта қарастырылды. Егжей-тегжейлі қарастыру үшін Perlman (2000) қараңыз.

4.8.4. Қайталауыштар, концентраторлар, көпірлер, коммутаторлар, маршруттауыштар және шлюздер

Біз кітабымызда, кадрларды бір компьютерден екінші компьютерге жеткізудің көптеген тәсілдерін қарастырып үлгердік. Біз қайталауыштар, концентраторлар, көпірлер, маршруттауыштар және шлюздар жайлы айтқанбыз. Бұл құрылғылардың барлығы кеңінен қолданылады, алайда бір жағынан олардың айырмашылығы байқалмайды, ал екінші жағынан айтарлықтай. Олардың саны өте көп, сондықтан айырмашылықтары мен ұқсастықтарын айта отырып, бірге қарастырған жөн. Құрылғылардың қалай жұмыс жасайтындығын түсіну үшін олардың *4.42 а-суретінде* көрсетілгендей, әртүрлі деңгейде жұмыс жасайтындығын білу керек. Ақпараттың қандай бөлігін құрылғы маршруттау үшін пайдаланатындығы деңгейге байланысты, сондықтан оның маңызы зор. Әдеттегі сценарий мынадай: тұтынушыда қашықтықтағы машинаға жөнелтетін қандай да бір деректер пайда болды. Олар оны транспорттық деңгейге жібереді, деңгей оған өз тақырыбын қосып (мысалы, TCP тақырыбы), нәтижелік ақпарат бірлігін желілік деңгейге жібереді. Желілік деңгей өз кезегінде, өз тақырыбын қосады, нәтижесінде желілік деңгей дестесі (мысалы, IP-десте) жасақталады. *4.42 а-суретінде* IP-десте сұр түспен белгіленген. Десте арналық деңгейге жіберіледі. Мұнда оған тағы да бір тақырып және бақылау қосындысы (CRC) қосылады. Ең соңында кадр жасақталып, физикалық деңгейге түсіріледі және мәселен, ЖЕЖ-сі арқылы тасымалдануы мүмкін.

Коммутациялық құрылғыларды қарастыруға көшейік және олардың дестелер және кадрлармен қалай сәйкестенетіндігін қарастырайық. Ең төменгі физикалық деңгейде қайталауыштар жұмыс істейді. Бұл аналогтық құрылғы, оған кабельдің екі сегментінің ұшы жалғанады. Олардың бірінде пайда болған сигнал тазаланып, қайталауышпен күшейтіліп келесісіне жіберіледі. Қайталауыштар «десте», «кадр» немесе «тақырып» деген сөздерді білмейді. Олар тек символдарды, кодтаушы биттерді және кернеуді біледі. Классикалық Ethernet-те, мысалы, кабельдің ұзындығын 500-ден 2500 м-ге дейін жеткізу үшін сигналды күшейтуге төрт қайталауыш қоюға рұқсат етіледі.

Қолданбалы деңгей	Қосымшалар шлюзі
Транспорттық деңгей	Транспорттық шлюз
Желілік деңгей	Маршруттауыш
Арналық деңгей	Көпір, коммутатор
Физикалық деңгей	Қайталауыш, концентратор

(а)



(ә)

4.42-сурет. Құрылғылардың деңгейлерге сәйкестігі (а); кадр, десте және тақырыптар (ә)

Енді концентраторларды қарастырайық. Концентратордың электр тоғымен байланысқан бірнеше шығысы бар. Қандай да бір шығысқа келген кадрлар, басқа тораптың бәріне беріледі. Егер бір мезгілде әртүрлі тораппен екі кадр келсе, олар коаксиалды кабельдегідей қақтығысады. Жалғанған тораптардың барлығы бірдей жылдамдықпен жұмыс жасауы керек. Концентраторлардың қайталауыштардан айырмашылығы, олар кіріс сигналын күшейтпейді. Олардың міндеті – ұқсас параметрлі тораптар жалғанған бірнеше кірістің үйлесімді жұмыс жасауын қамтамасыз ету. Басқа жағынан алғанда олардың қайталауыштан айырмашылығы жоқ. Бұлардың екеуі де физикалық деңгей құрылғысы, олар арна деңгейінің адресін сараптамайды және оны пайдаланбайды.

Арналық деңгейге көшейік. Мұнда біз көпірлер мен коммутаторларды кездестіреміз. Осыған дейін біз көпірлерді талқыладық, сондықтан олардың екі немесе одан да көп ЖЕЖ-ін байланыстыратынын білеміз. Концентратордағыдай қазіргі көпірлердің бірнеше порттары бар. Олар белгілі бір типтегі, 4-тен 48-ге дейінгі кіріс тораптарына есептелген. Концентратордан ерекшелігі – әр порт өз қақтығыстарының домені болу үшін бөлектенген. Егер портта жартылай дуплексті екі нүктелі торап болса, онда CSMA/CD алгоритімінің қажеті жоқ. Кадр келген кезде, көпір тақырыптан тағайындалған адресі алып сараптап, кестемен сәйкестендіріп қайда жөнелту керек екендігін анықтайды. Ethernet үшін бұл адрес – 48-биттік тағайындалған адрес (4.14-сурет). Көпір кадрды тек қажет портқа жөнелтеді және бірнеше кадрды бірге жөнелте алады.

Көпірлердің өнімділігі концентраторға қарағанда әлдеқайда жоғары, ал көпір порттарының арасындағы оқшаулық, кіріс тораптарының әртүрлі жылдамдықпен және әртүрлі типтегі желілермен жұмыс жасауына мүмкіндік береді. Қарапайым мысал, 10-, 100-, және 1000-Мбит/с Ethernet-пен байланыса алатын порттары бар көпір. Көпірде кадрды бір порттан қабылдап, екіншісіне жөнелту үшін, буферлеу қажет. Егер кадрлар қайталап жіберуге қарағанда жылдамырақ келетін болса, көпірдің буферлік кеңістігі жетпей ол кадрдан бас тарта бастауы мүмкін. Мысалы, егер Gigabit Ethernet 10Мбит/с Ethernet-ке үлкен жылдамдықпен биттер құятын

болса, көпір жады жеткілікті болатындай, оларды буферлеуі керек. Бұл мәселе порттардың барлығы бірдей жылдамдықпен жұмыс жасағанда да орын алады, себебі тағайындалған портқа бірнеше порттардан кадрлар келуі мүмкін.

Көпірлер бастапқыда бірнеше, әртүрлі типтегі ЖЕЖ-ін байланыстыруға негізделген болатын, мысалы, Ethernet және Token Ring. Алайда ЖЕЖ-рі арасындағы ерекшеліктерге байланысты бұл ешқашан жақсы жұмыс жасаған жоқ. Кадрдың түрлі форматтары көшіруді және қайтаформаттауды қажет етеді. Бұл орталық процессор уақытын алады, бақылау қосындысын қайта есептеуді және көпір жадысындағы нашар биттер салдарынан анықталмаған қателіктер кету мүмкіндігін жоғарылатады. Жақсы шешімі табылмаған тағы бір күрделі мәселе – кадрдың ең үлкен ұзындығы әртүрлі. Тым үлкен кадрлардан бас тартуға ұмтылу қажет. Ең алдымен үйлесімдік үшін.

ЖЕЖ-нің ерекшеленуінің басқа екі аумағы – қауіпсіздік және қызмет көрсету сапасы. Кейбір ЖЕЖ-де арналық деңгей шифрлауы бар, мысалы, 802.11-де, кейбірінде, мысалы, Ethernet-те ол жоқ. Кейбір ЖЕЖ-де басымдылық тәрізді, қызмет көрсету сапасын қамтамасыз ету мүмкіндігі бар, мысалы, 802.11-де, кейбірінде, мысалы Ethernet-те ол жоқ. Демек, кадр осы екі ЖЕЖ-рі арасында тасымалданатын кезде, тұтынушы күткен қауіпсіздік және қызмет көрсету сапасы қамтамасыз етілмеуі мүмкін. Осы себептердің салдарынан қазіргі көпірлер әдетте бір типті желілермен жұмыс жасайды, ал басқа типтегі желімен байланысу үшін маршруттауыштар пайдаланылады.

Коммутаторлар – қазіргі көпірлердің басқа аты. Айырмашылық көбіне, техникалық ерекшеліктерге қарағанда, маркетингке байланысты. Алайда бірнеше маңызды сәттер бар. Көпірлер классикалық Ethernet қолданыста болған кезде құрастырылған, сөйтіп, олар аз ғана ЖЕЖ-мен байланыса алады, демек порттар саны аз. Қазіргі кезде «коммутатор» термині танымал. Сонымен бірге қазіргі жүйелердің барлығы, есілген пар кабелі тәрізді екі нүктелі торапты пайдаланады, сөйтіп, жеке компьютерлер бірден коммутаторға қосыла алады, сондықтан коммутатор порттарының саны көп. Көпір функциялары түсінікті. Екінші жағынан коммутатор Ethernet коммутаторына жатпайды немесе телефон коммутаторы тәрізді қайта бағыттау шешімін қабылдай алатын құрылғыға мүлдем жатпайды.

Сонымен, біз өзара өте ұқсас қайталауыш пен коммутаторды және тіптен ұқсас коммутатор мен көпірді қысқаша қарап шықтық. Біз енді, жоғарыда құрылғыларға мүлдем ұқсамайтын маршруттауышты қарастыруға көшеміз. Десте маршруттауышқа жеткен кезде, кадрлардың тақырыбы мен соңы алып тасталып, тек маршруттауыш программалық жабдықтамасына берілетін, деректер өрісі (4.42-суретте сұр түспен белгіленген) қалады. Ары қарай десте тақырыбы сарапталып, соған сәйкес оның жөнелтілетін жолы таңдалады. Егер бұл IP-десте болса, онда тақырыпта 48-биттік IEEE 802 адресі емес, 32-биттік (IPv4) немесе 128-биттік (IPv6) адрес болады. Маршруттауыштың программалық жабдықтамасы кадр адрестерімен айналыспайды және олардың қайдан шыққанын да білмейді (ЖЕЖ-нен бе, екі нүктелі тораптан ба). Маршруттауыштарды және маршруттау принциптерін біз 5-тарауда толығырақ қарастырамыз.

Тағы бір деңгейге жоғары көтеріліп, біз транспорттық шлюздерді көреміз. Олар әртүрлі транспорттық хаттамаларды пайдаланатын компьютерлерді біріктіреді, байланыс орнатуға бағытталған. Мысалы, мұндай жағдай TCP хаттамаларын біріктіруге бағытталған компьютер, SCTP хаттамаларын біріктіруге бағытталған компьютерге деректер жөнелтуі қажет болған кезде туындайды. Транспорттық шлюз дестелерді байланыстар арасында көшіріп, қажет форматқа келтіруді қатар орындай алады.

Соңында, қосымшалар шлюзі форматтармен және дестелер мазмұнымен, жоғары деңгейде қайта форматтап жұмыс жасайды. Мысалы, e-mail шлюзі электронды хаттарды мобильді телефондарға арналған SMS-мәлімдеме форматына аудара алады. «Коммутатор» тәрізді «шлюз» – де жалпы термин. Ол жоғары деңгейде орындалатын, тасымалдау үрдісі.

4.8.5. Виртуалды жергілікті желілер

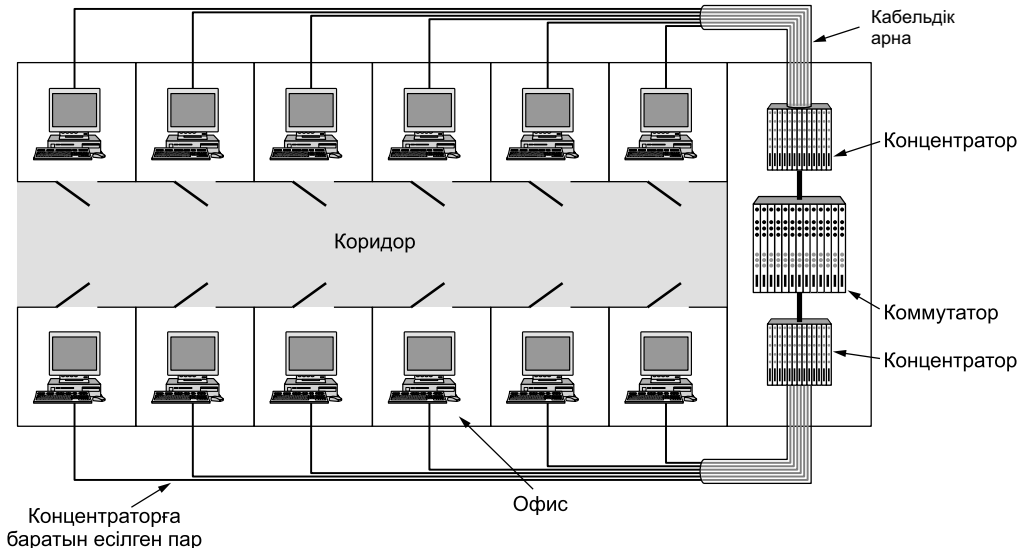
Жергілікті желілер технологиясы дамыған кезде жуан сары сымдар көптеген офистарды орап алды. Жанынан осындай сым жүрген әрбір компьютерді желіге қосуға болатын болды. Компьютердің нақты қандай ЖЕЖ-не қосылғандығы жайлы ешкім ойланған жоқ. Көршілес офистағы компьютерлердің барлығы, оларға қаншалықты керек екендігіне қатыссыз бір желіге біріктірілді. Корпоративті ұйымдар құрылымын «география» басқарды.

1990 жылы есілген пар және концентратордың пайда болуымен барлығы өзгерді. Офис ғимараттарынан, бақша шлангасын еске салатын, сары сымдар жоғала бастады. Оның орнына, *4.43-суретте* көрсетілгендей, коридор соңында (немесе орталық машиналық залда) орналасқан және есілген парлар тықпаланған щиттар пайда болды. Егер кабельдерді жүргізуге жауапты шенеунік көреген болса, онда 5 категориялы есілген парлар жүргізілді. Ал егер ол қазымыр болса, онда ол, тек Fast Ethernet типті желілердің келісімен алмастырылған, 3 категориялы, қолданыстағы (телефон) есілген парларды пайдаланды.

Бүгін кабельдер өзгерді, концентраторлар коммутатор болды, алайда жалпы схема өзгерген жоқ. Ол жергілікті желілерді физикалық емес логикалық түрде баптауға мүмкіндік береді. Егер компанияға k ЖЕЖ қажет болса, ол k коммутатор сатып алады. Желіні мұқият жинап (қажет біріктіргішті керек разъемға жалғап), оның тұтынушыларын, нақты ұйымдастырушы мағынасы бар және станцияның ғимарат ішінде орналасуына тәуелсіз етіп анықтауға болады.

Шынын айтқанда, ЖЕЖ-не кімнің жалғанғаны маңызды ма? Бәрібір барлық ұйымдарда желілер өзара біріккен. Іс жүзінде, бұл көп жағдайда шынында да маңызды. Желілік әкімшілік көптеген себептермен ЖЕЖ-нің тұтынушыларын, компьютердің физикалық орналасуына емес, ұйымның құрылымына байланысты топтарға бөлгенді ұнатады. Осындай себептің бірі – қауіпсіздік. Бір ЖЕЖ веб-сервер мен қоғамдық тұтынушыларға арналған басқа компьютерлерден тұруы мүмкін. Келесісі, ұйым шеңберінен шықпайтын, кадрлар бөлімінің жазба-

ларынан тұруы мүмкін. Бұл жағдайда ең жақсы шешім, бөлім қызметкерлерінің компьютерлерін бір ЖЕЖ-не біріктіру және қандай да болмасын деректі сыртқа шығаруға тыйым салу. Ұйым басшылығын, әдетте, мұндай шешімді жүзеге асыру мүмкін емес деген қанағаттандырмайды.



4.43-сурет. Концентратор және коммутаторды пайдаланатын орталықталған сымы бар ғимарат

Екінші себеп, желі жүктелуі. Желі шамадан тыс жүктелуі мүмкін, сондықтан оны бірнеше желіге бөлген дұрыс. Мысалы, зерттеу бөліміндегі халық қандай да бір астарлы эксперимент жүргізгісі келсе, бухгалтерия оның, видеоконференция өткізетін ортақ желінің сыйымдылығы есебінен жүргізілгеніне қуана қоймайды. Екінші жағынан, бұл басшылықты жоғары жылдамдықты желі жүргізу керек екендігіне нандыра еді.

Тағы бір себеп – кең таратылу. Көпірлер және жоғары деңгей хаттамалары, адресаттың орны белгісіз болғанда, кең таратылуды қолдайды. Мысалы, егер тұтынушы x IP-адреске десте жөнелткісі келсе, ол қандай MAC-адресінің кадрларды беретіндігін қалай біледі? Бұл біз сұрақты 5 тарауда тереңірек қарастырамыз, ал қазір екі сөзбен мәселенің шешімін айтамыз: станция кеңтарту әдісімен « x IP-адреспен қандай MAC-адрес жұмыс жасайды. Кім біледі?» деген сұраныс жіберіп, жауап күтеді. ЖЕЖ компьютерлер саны көбейген сайын, кеңтартатылымды мәлімдемелер саны да өседі. Әр кеңтартатылымды мәлімдеме ЖЕЖ-нің ресурсын, жай кадрға қарағанда көбірек қолданады, себебі ол ЖЕЖ-гі әр компьютерге бағытталған. Егер ЖЕЖ-нің мөлшері қажет мөлшерден аспаса, кеңтартатылымды трафик әрекеті азаяды.

Кеңтартатумен байланысты тағы бір мәселе бар: кей уақытта желі интерфейсі

бұзылып немесе дұрыс құрастырылмай, барлық станциялар алатын шексіз кадрлар ағынын генерациялауы мүмкін. Егер желі шын мәнінде сәтсіз болса, онда бұл кадрлардың кейбіреуі, бұдан да үлкен трафик санына әкелетін жауап беруі мүмкін. Бұл, біріншіден, желінің барлық өткізгіштік қабілеті мағынасыз кадрлармен толығады, екіншіден, желіге қосылған машиналардың барлығы тек осы қоқсықты өңдеп, **шеттетумен айналысатын кеңтаратылымды дауыл (broadcast storm)**.

Алғаш қарағанда, кеңтаратылымды дауылдарды, желілерді көпір немесе коммутаторлар көмегімен бірнеше бөлікке бөліп, өзінше дамба қою арқылы шектеуге болатын тәрізді. Алайда, егер әңгіме ашықтық (машиналарға басқа ЖЕЖ-не конфигурациясын өзгертпей көшу мүмкіндігін ұсыну) жайлы болса, онда кеңтаратылымды кадрлар көпірлермен өңделіп, тасымалдануы қажет.

Компанияларға, мөлшері шектелген, көптеген жергілікті желінің керек екендігінің себебін қарастырғаннан кейін, енді физикалық және логикалық топологиялардың бөліну мәселесіне қайтып оралайық. Ұйымдық құрылымды көрсетіп, физикалық топология құрастыру, тіпті орталық сым және коммутатормен болса да, жобаның жұмысын көбейтіп құнын өсіруі мүмкін. Мысалы, егер бір бөлімнің екі қызметкері әртүрлі ғимаратта жұмыс істейтін болса, онда оларды әртүрлі ЖЕЖ-нің бөлігі болып саналатын әртүрлі коммутаторға қосқан жеңіл. Тіптен жағдай басқаша болса да, тұтынушы компания шеңберінде бір бөлімнен екінші бөлімге ауысса, бірақ бір офиста қалса, немесе керісінше – офисті ауыстырып, бөлім қалса, бұл, әкімшілік тұтынушы разъемін бір коммутатордан екіншісіне ауыстырғанша, тұтынушы дұрыс емес ЖЕЖ-де қалады дегенді білдіреді. Бұдан басқа, түрлі бөлімдерге тиесілі компьютерлер саны, коммутатор порттарының санына сәйкес келмеуі мүмкін. Бір бөлім тым кіші, ал екіншісі үлкен және бірнеше коммутаторды қажет етеді. Бұл коммутатор порттарының пайдаланылмай бос тұруына әкеледі.

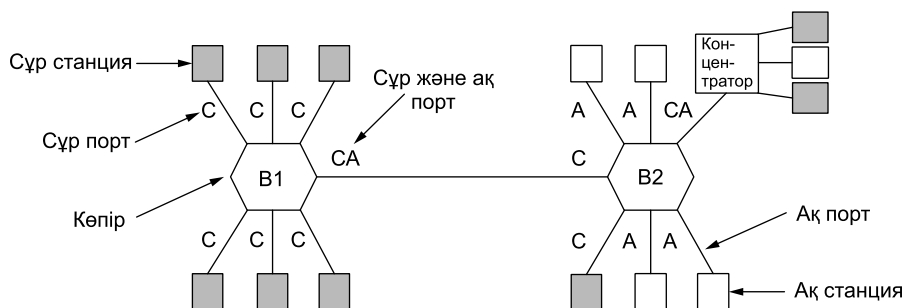
Көптеген компанияларда қайта ұйымдастырылулар жиі болып тұрады, демек желі әкімшілігі байланыстырғыштар мен разъемдарды үнемі ауыстырып отырады. Кейбір жағдайда, тұтынушы компьютерінің сымы коммутатордан алшақ өтетіндіктен оған жетпейді (кабельді ойластырмай жүргізгендік салдарынан) немесе қолжетімді коммутатор порты басқа ЖЕЖ-ге қарасты, сол себепті мұндай ауыстырулар мүмкін болмай қалады.

Тұтынушылар өндірушілерден икемді желілерді құрастыруды талап ете бастады. Өндірушілер бұған, ендіру үшін тек программалық жабдықтаманы өзгертуді қажет ететін, **виртуалды ЖЕЖ (ВЖЕЖ – VLAN, Virtual LAN)** құрастырумен жауап берді. Виртуалды желілер бір кезде IEEE 802 комитетімен стандартталған болатын. Қазір кеңінен қолданылады. Төменде біз виртуалды желілерді қысқаша талқылаймыз. Қосымша ақпаратты (Seifert және Edwards, 2008) жұмысынан табуға болады.

Виртуалды желілер ВЖЕЖ-үйлесімді коммутаторлары негізінде құрастырылған. Виртуалды ЖЕЖ-не негізделген жүйені құрастыру үшін желі әкімшілігіне алдымен неше виртуалды желі болатындығын, оған қандай компьютерлер кіретіндігін және олардың қалай аталатындығын шешу керек. Көбіне ВЖЕЖ

(бейресми) түстерге сәйкес аталады, сонда бірден түсінікті болады. Көрнекті түсті диаграммалар тұтынушылардың қандай виртуалды желіге жататынын көрсетеді. Айталық «қызыл» желі тұтынушылары қызыл түспен бейнеленеді, «көк» – көкпен және т.с.с. Сөйтіп, бір суретте физикалық және логикалық құрылымды бірден көрсетуге болады.

Мысал ретінде, 4.44-суретте бейнеленген, көпірі бар ЖЕЖ қарастырайық. Мұнда тоғыз виртуалды машина С («Сұр») желісіне, ал бес машина А («Ақ») виртуалды желісіне кіреді. «Сұр» желі машиналары екі коммутатор арасында таратылған, соның ішінде екі машина коммутаторға концентратор арқылы жалғанған.



4.44-сурет. Сұр және ақ екі виртуалды желі көпірі бар желіде

Виртуалды желілер дұрыс жұмыс жасау үшін көпірде конфигурациялық кесте болуы тиіс. Бұл кестелер, виртуалды желіге қандай порт арқылы қол жеткізуге болатындығын хабарлайды. Кадр, мысалы, «сұр» ВЖЕЖ-дан келген кезде оны С әрпімен белгіленген барлық порттарға жіберу керек. Бұл ереже, көпір тағайындалған орнын анықтамайтын, жалғыз (демек, бірбағытты) тасымал үшін де, топтық және кеңтаратылымды тасымалдау үшін де ақиқат. Тек, порт ВЖЕЖ-нің бірнеше түсіне боялуы мүмкін.

Мысал ретінде, айталық, В1 көпіріне қосылған «сұр» станциялардың бірі алдын ала белгілі тағайындалған орынға кадр жіберді делік. В1 көпірі кадрды қабылдап, оны С белгісі бар машинадан келгенін байқайды. Сондықтан, оны «сұр» виртуалды желіге қатысты барлық порттарға (келген портын қоса) жіберуі керек. Кадр, В1 көпіріне жалғанған, қалған бес «сұр» станцияларға жіберіледі, сонымен бірге В1 арқылы В2 жіберіледі. В2 көпірі де сәйкесінше, С белгісі бар барлық порттарға жібереді. Мұнда кадр С және А белгісі бар бір станцияға да жіберіледі, себебі оған екі ВЖЕЖ-нің станциясы жалғанған. Кадр С белгісі бар порттардан басқа порт арқылы жіберілмейді, себебі көпір «сұр» ВЖЕЖ олар арқылы қол жеткізуге болмайтынын біледі.

Біздің мысалымызда, кадр тек В1 көпірінен В2 көпіріне беріледі, себебі «сұр» ЖЕЖ машиналары В2-ге жалғанған. «Ақ» ЖЕЖ-не қарап, В1 көпірімен байланысқан В2 көпірі А боялмағанын көреміз. Бұл, «ақ» ЖЕЖ кадры В2-ден

V1-ге жіберілмейтінін білдіреді. Бұл дұрыс, себебі, V1-ге бір де бір «ақ» станция жалғанбаған.

IEEE 802.1Q стандарты

Бұл схеманы жүзеге асыру үшін көпірлер қандай да бір жолмен енген кадрдың қандай ВЖЕЖ-не жататынын білуі тиіс. Бұл ақпаратсыз, мысалы, V2 көпірі V1 көпірінен кадрды алған кезде (4.44-суретті қараңыз), ол оны «ақ» немесе «сұр» ВЖЕЖ-не жіберетінін білмейді. Егер біз жаңа типті желіні жобалайтын болсақ, арнайы тақырып өрісін қосқан жеткілікті болар еді. Алайда қолданыстағы басым желі Ethernet-пен не істейміз? Оның виртуалды желі идентификаторына беретін ешқандай «қордаға» өрісі жоқ.

IEEE 802 комитеті бұл сұрақпен 1995 жылы айланыса бастады. Көптеген пікірталастардан кейін мүмкін емес мәселе шешілді – Ethernet кадрдың тақырып форматы өзгертілді! Жаңа формат 1998 жылы 802.1Q деген атпен жарияланды. Кадр тақырыбына, қазір біз қысқаша қарастыратын ВЖЕЖ жалаушасы енгізілді. Әрине, Ethernet тәрізді тұрақталған дүниеге өзгеріс енгізу қандай да бір ерекше тәсілмен іске асырылуы керек. Келесідей сұрақтар туындайды:

1. Енді қолданыстағы миллиондаған Ethernet желілік карталарын қоқысқа тастау керек пе?
2. Олай болмаса, кадрдың жаңа өрісін генерациялаумен кім айланысады?
3. Мөлшері ең үлкен шекке жеткен кадрлармен не болады?

Әрине, бұл сұрақтар 802 комитетін де толғандырды және шешім табылды.

Шешім, іс жүзінде ВЖЕЖ өрісін, тұтынушы машиналар емес, тек көпірлер мен коммутаторлар пайдаланады. Айталық, 4.44-суретте бейнеленген желіні, соңғы станциялардан арнада келе жатқан кадрда өрістің бар екендігі көпірге жеткенше толғандырмайды. Сонымен бірге ВЖЕЖ-ін қолдану үшін көпірлер ВЖЕЖ-үйлесімді болуы керек. Бұл факт жобаны орындалатындай етеді.

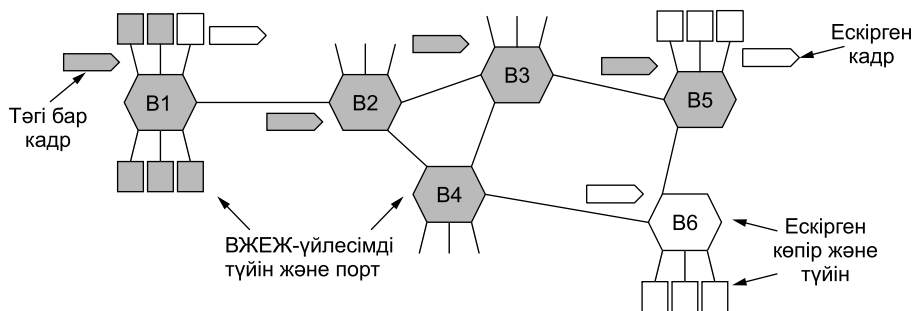
Ескі Ethernet желілік карталарына келетін болсақ, оларды лақтырудың қажеті жоқ. 802.3 комитеті адамдарды *Түп* өрісін *Ұзындық* өрісіне ауыстырта алмады. Қолданыстағы Ethernet желілік карталарын лақтыру керек деген сөзге қандай реакция болатынын өздеріңіз ойлап көріңіз? Сонда да, 802.1Q-үйлесімді жаңа модельдер виртуалды желі идентификаторының өрістерін дұрыс толтыра алады.

Кейбір компьютерлер (және коммутаторлар) ВЖЕЖ-мен үйлеспейтіндіктен, кадр жолында алғаш кездескен ВЖЕЖ-үйлесімді көпір өрісті енгізеді, ал соңғысын алып тастайды. Аралас топология мысалы 4.45-суретте көрсетілген. Бұл мысалда, ВЖЕЖ-үйлесімді компьютер тегі (демек, 802.1Q-мен) бар кадрды бірден генерациялайды және ары қарай коммутаторлар осы тегті қолданады. Боялған белгілер – ВЖЕЖ-үйлесімді, босы – үйлесімсіз.

802.1Q-ге сәйкес кадрлар алынған портқа байланысты боялады. Тәсілді пайдалану үшін бір порттың барлық машиналары бір ВЖЕЖ-не тиесілі болуы керек, бұл икемділікті азайтады. Мысалы, 4.44-суретте бұл қасиет барлық порттар үшін

орындалған. Мұнда жеке компьютерлер көпірмен байланысқан, тек концентратор В2 көпірімен байланысатын порт үшін емес.

Көпір түсті таңдау үшін жоғары деңгей хаттамасын қосымша пайдалана алады. Сөйтіп, портқа келген кадрлар, өздерінің IP-десте немесе PPP кадрын әкелгендігіне қарамастан әртүрлі ВЖЕЖ-не орналастырылады.



4.45-сурет. ВЖЕЖ-мен ішінара үйлесімді ЖЕЖ көпірі. Боялған символдар – бұл ВЖЕЖ-үйлесімді құрылғылар. Қалғандары виртуалды желімен үйлесімсіз

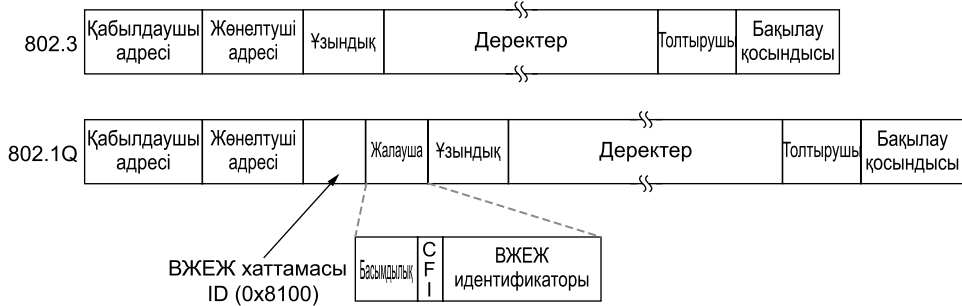
Басқа да тәсілдер болуы мүмкін, бірақ олар 802.1Q-мен қолданылмайды. Бұл, ноутбуктер өздерінің қозғалысына байланысты кадрларды әртүрлі порттар арқылы тасымалдайтын, көршілес 802.11 ЖЕЖ кадрларына пайдалы болар еді. Онда бір MAC-адрес, желіге енген портына байланысыз, бір ВЖЕЖ-де бейнеленер еді.

Ұзындығы 1518 байттан жоғары кадрлар мәселесіне келетін болсақ, 802.1Q стандартында лимитті 1522 байтқа дейін көтеру арқылы шешіледі. Қуанышқа орай, кадрлардың мұндай ұзындығын тек ВЖЕЖ-үйлесімді компьютерлер және коммутаторлар қолдауы керек.

Енді 802.1Q форматының өзін қарастырайық. Ол 4.46-суретте көрсетілген. Мұнда біз көретін жалғыз өзгеріс – екі 2-байттық өрістің қосылғаны. Біріншісі **ВЖЕЖ идентификаторының хаттамасы (VLAN protocol ID)**. Оның мәні үнемі 0x8100. Бұл сан 1500-ден үлкен болғандықтан, Ethernet желілік карталарының барлығы оны «ұзындық» емес, «тип» ретінде қабылдайды. Бұл кадрмен 802.1Q-мен үйлесімсіз картаның не істейтіндігі белгісіз, сондықтан мұндай кадрлар оған жетпеуі тиіс.

Екінші екі байттық өрісте үш кіріктірілген өріс бар. Олардың ең негізгісі, кіші 12 байты алатын ВЖЕЖ идентификаторы (VLAN identifier). Ол, осы форматтар өзгерісін қажет еткен негізгі ақпараттан тұрады. Мұнда, кадр тиесілі виртуалды желінің «түсі» көрсетілген. Үш биттік «Басымдылық» өрісінің виртуалды желіге ешбір қатысы жоқ. Ethernet-кадр форматын өзгерту – әр декадада өтетін, үш жыл уақыт алатын және жүздеген адамдар жүзеге асыратын ритуал. Өзің жайлы қосымша үш биттен тұратын өріс ретінде ескерткіш неге қалдырмасқа және осындай әдемі атпен? «Басымдылық» өрісі «қатты» нақты уақыт режимі мен «жұмсақ» нақты уақыт режим трафиктерін және тасымалдану уақыты маңызды емес

трафиктерді ажыратуға мүмкіндік береді. Бұл Ethernet-те жоғары қызмет көрсету сапасын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Сонымен бірге ол Ethernet арқылы дауыс тасымалданғанда қолданылады (алайда, IP-да міне ширек ғасыр осындай өріс бар, бірақ оны ешкім пайдаланған емес).



4.46-сурет. 802.3 және 802.1Q Ethernet-стандарт кадрның форматы

Соңғы өріс, **CFI (Canonical Format Indicator – классикалық формат индикаторы)**, алайда бұл өрісті **Компания эгоизмі индикаторы (Corporate ego indicator)** деп атаған дұрыс болар еді. Бастапқыда өріс MAC-адрес («сүйір бастылар мұқал бастыларға қарсы») битінің ретін көрсетуге арналған, алайда пікірталас үстінде бұл ұмытылып кетті. Бұл өріс деректері қазірде кеуіп қалған 802.5 кадры тағы бір 802.5 форматындағы желіні іздеп жүргендігі жайлы хабарлайды және Ethernet-ке кездейсоқ кіріп кеткен. Іс жүзінде ол Ethernet-ті жылжыту құралы ретінде пайдаланады. Бұның барлығының іс жүзінде, осы тарауда талқыланып отырған виртуалды желіге ешқандай қатысы жоқ. Алайда стандарттау комитеті саясатының әдеттегі саясаттан айырмашылығы шамалы: егер сен форматқа менің битімнің кіргеніне дауыс берсең, мен сенің битің үшін дауыс беремін.

Жоғарыда айтылғандай, виртуалды желі жалаушасы бар кадр ВЖЕЖ-үйлесімді коммутаторға келген кезде, ол кадрды жіберетін портты анықтағанда, виртуалды желі идентификаторын кесте индексі ретінде пайдаланады. Ал, бұл кесте қайдан алынады? Егер ол қолмен жасалатын болса, онда бастапқы нүктеге қайтып келгеніміз бе: коммутаторларды қолмен конфигурациялау. Көпірлердің ашықтығының ең жақсысы, олар автоматты түрде бапталады және бұл үшін сырттан ешқандай әрекеттің қажеті жоқ. Мұндай қасиетті жоғалту өкінішті болар еді. Қуанышқа орай, көпірлер виртуалды желілер үшін де өз бетімен бапталады. Баптау, келген кадрлар жалаушаларындағы ақпарат негізінде жүреді. Егер, үшінші портқа келген кадр ВЖЕЖ 4 ретінде белгіленген болса, онда осы портқа жалғанған машиналардың бірі 4 виртуалды желіге жатады дегенді білдіреді. Динамикалық кестелердің қалай тұрғызылатындығы 802.1Q стандартында анық жазылған. Сонымен бірге 802.1D стандартының сәйкес бөліміне сілтеме жасалған.

Маршруттауыштар жайлы әңгімені аяқтамас бұрын, тағы бір ескерту жасаған

жөн. Интернет және Ethernet желілерінің тұтынушыларының көбі байланыс орнатылмайтын желіге байланып қалған және арналық немесе желілік деңгейде қандай да бір байланысты талап ететін жүйелерге барынша қарсы тұрады. Алайда виртуалды желіде бір техникалық сәт, осы байланыс орнатуды еске салады. Виртуалды желі жұмысы, әр кадрдағы коммутаторға кіріктірілген кесте индексі ретінде пайдаланылатын идентификаторсыз мүмкін емес. Осы кесте негізінде кадрдың ары қарайғы маршруты анықталады. Нақты осы әрекет, байланысқа бағытталған желілерде орын алады. Байланыссыз жүйелерде маршрут тағайындалған адрес бойынша анықталады және онда кадр өтетін нақты торап идентификаторы жоқ. Бұл тенденцияны толығырақ біз *5-тарауда* қарастырамыз.

4.9. ТҮЙІНДЕМЕ

Кейбір желілерде кез келген байланыс үшін жалғыз моноарна қолданылады. Құрастыру барысында негізгі мәселе, осы моноарнаны пайдалану құқығы үшін жарысатын станциялар арасында тарату. Қарапайым тарату схемасы, дербес және уақытқа тығыздау. Бұл станциялар саны шағын және трафик тұрақты болғанда тиімді. Екі тәсілде осы шарттар бойынша, мысалы, телефон магистральдарында өткізу жолағын бөлу кезінде қолданылады.

Станциялар саны көп және тұрақсыз немесе трафик жүріп тұрған болса – компьютерлік желілер үшін әдеттегі жағдай, дербес және уақытқа тығыздауды пайдалану тиімсіз.

Арнаны динамикалық таратудың бірнеше алгоритмі құрастырлды. ALOHA хаттамасының (таза немесе дискретті) көптеген нұсқасы нақты желілерде қолданылады, мысалы, кабельді модемдерде және RFID-да. Оны жетілдіру – арнаның мүмкіндігін тыңдау, сонда станциялар арнаның басқа станциямен жұмыс жасап жатқанын естісе, тасымалдаудан бас тарта алады. Бұл әдісті пайдалану – тасымалдаушыны бақылау – жергілікті және аймақтық желілерде қолданылатын, CSMA хаттамасының көптеген түрін құрастыруға әкелді. Бұл – классикалық Ethernet және 802.11 желілерінің негізі.

Арна үшін тартысты болдырмайтын, кем дегенде ондағы шиеленісті төмендететін, хаттамалар класы кеңінен танымал. Биттік карта хаттамасы, екілік кері санау хаттамасы және сақинатәрізді топологиялар арна үшін тартысты толығымен жояды. Бейімдеу ағашы хаттамасы, станцияларды динамикалық түрде, өзара қиылыспайтын әртүрлі мөлшердегі екі топқа бөліп, тартысты тек топ ішінде қалдырады. Идеалды жағдайда топтар тасымалдауға дайын, тек бір ғана станцияға рұқсат етілетіндей етіп таңдалады.

Сымсыз ЖЕЖ-дің қосымша мәселесі тасымалдау қақтығыстарын анықтау қиындығы және станцияларға қызмет көрсететін аумақтардың әртүрлілігі. Басымды сымсыз ЖЕЖ, IEEE 802.11-де станциялар, бірінші мәселенің әсерін азайту үшін қақтығыс болдырмайтындай кішкене арақашықтық қалдырып, CSMA/CA пайдаланады. Станциялар сонымен бірге, екінші мәселе салдарынан туындай-

тын, жасырын терминалдардан қорғану үшін RTS/CTS хаттамаларын да қолдана алады. IEEE 802.11 әдетте ноутбуктер және басқа да құрылғыларды қолжеткізу нүктесімен байланыстыру үшін пайдаланады. Алайда ол құрылғылар арасында да пайдаланылады. Бірнеше физикалық деңгейлер арасында да қолданылады, соның ішінде көпарналы, бір антенналы және антеннасыз FDM және спекторды кеңейту.

802.11 стандартындағыдай, RFID оқығыштары мен белгілері, идентификаторды хабарлау үшін еркін қолжеткізу хаттамасын қолданады. Басқа сымсыз дербес және қалалық желілердің өзгеше құрылғылары бар. Bluetooth жүйесі компьютерге құлаққап және тағы да басқа сыртқы құрылғыларды сымсыз байланыстыруды жүзеге асырады. Тұрақты және мобильді компьютерлердің Интернетке кең аумақты сымсыз қолжеткізуін IEEE 802.16 қамтамасыз етеді. Бұл екі желі де байланыс негізіндегі орталықтандырылған схеманы пайдаланады. Мұнда, қандай станцияның қай кезде деректер жөнелтіп, қабылдайтынын, Bluetooth жетекші құрылғысы және WiMAX базалық станциясы шешеді. Схема 802.16 үшін, телефон қоңырауы тәрізді нақты уақыт трафигінің және веб-парақты қарау тәрізді интерактивті трафиктің түрлі қызмет сапасын қолдайды. Bluetooth жетекші құрылғысының күрделілігі бағынышты (ведомый) құрылғылардың арзандығына әкеледі.

Ethernet сымды жергілікті есептеу желілерінің басым технологиясы болып саналады. Классикалық Ethernet арнаны таратуды, бір компьютерден екіншісіне тартылған, қалыңдығы бақша шлангысындай сары кабельді CSMA/CA тәсілінің көмегімен жүргізеді. Құрылымдар өзгеріп, жылдамдықтар 10 Мбит/с-тан 1 Гбит/с-қа дейін жоғарылады және әлі де жоғарылауда. Енді, есілген пар тәрізді нүкте-нүкте тораптары концентратор және коммутаторларға жалғанады. Арнада қазіргі коммутаторлар және толық дуплексті арналармен ешқандай бәсекелестік жоқ және коммутатор түрлі порттар арасында кадрды параллель жөнелте алады.

Гимаратта бірнеше жергілікті желі болған кезде оларды қандай да бір тәсілмен біріктіру қажет. Бұл мақсатта plug-and-play құрылғысы – көпір қолданылады. Көпірді құрастыру кезінде кері оқыту және байланыстырушы ағаш алгоритмі қолданылады. Қазіргі коммутаторларға осы функцияны қосу, «көпір» және «коммутатор» терминдерін өзара алмасымды етті.

Көпірі бар ЖЕЖ-ін басқаруды жеңілдету үшін виртуалды жергілікті есептеу желісі пайда болды. ВЖЕЖ-сі физикалық топологияны логикалық топологиядан бөлуге мүмкіндік береді. Ethernet кадрларының жаңа форматын енгізген, IEEE 802.1Q – виртуалды жергілікті есептеу желілеріне арналған стандарт құрастырылды.

СҰРАҚТАР

4. Есепті шығару үшін осы тарауда келтірілген формуланы жалпы түрде жазып пайдаланыңыз. Кадрлар жөнелтілу үшін 100-Мбит/с арнаға кездейсоқ түрде келеді. Егер келген кезде арна бос емес болса, кадр күту кезегіне

тұрады. Кадр ұзындығы экспоненциалды заңдылық бойынша, 10 000 бит/кадр математикалық күтумен таратылады. Төменде берілген әр келу жылдамдығы үшін орташа ұзындықты кадр кідірісін есептеңіз (кезекте күту уақыты және тасымалдау уақытын қоса).

- 1) 90 кадр/с.
 - 2) 900 кадр/с.
 - 3) 9000 кадр/с.
5. N станциядан тұратын топ, 56 Кбит/с жылдамдықпен жұмыс жасайтын таза АЛОНА жүйесінің арнасын пайдаланады. Әр станция, орташа есеппен әр 100 с сайын, алдыңғы кадр жөнелтілмесе де (мысалы, станция шығыс кадрларын буферлеуі мүмкін), 1000-биттік кадр жөнелтеді. N -нің ең үлкен мәні нешеге тең?
 6. Таза және дискретті АЛОНА жүйесінің төмен жүктелу кезіндегі кідіріс уақытын салыстырыңыз. Қай жүйеде уақыт төмен болады? Жауапты түсіндіріңіз.
 7. АЛОНА жүйесі тұтынушыларының үлкен тобы алғашқы және қайта тасымалдауды қоса алғанда, секундына 50 сұраныс құрастырады. Уақыт 40 нс интервалға бөлінген.
 - 1) Алғашқы талпыныстың табысқа жету мүмкіндігі қандай?
 - 2) Табыс алдында қақтығыс санының k -ға тең болу ықтималдығы қандай?
 - 3) Тасымалдауға талпыныстың орта саны қанша?
 8. Тұтынушылар саны шексіз АЛОНА дискреттік жүйесінде қақтығыс және қайта талпыныс арасындағы станциялардың күту уақыты 4 уақыттық интервалды құрайды. Осы жүйе үшін кідірістің арнадағы ағынға тәуелділігін бейнелеп көрсетіңіз.
 9. CSMA/CD-да дауды шешу слотының ұзындығы қандай:
 - 1) 2-километрлік екі сымды кабель (сигнал тарату жылдамдығы, сигналдың вакуумде таралу жылдамдығының 82% құрайды) үшін?
 - 2) 40-километрлік көпмодылы оптыталшықты кабель (сигнал тарату жылдамдығы, сигналдың вакуумде таралу жылдамдығының 65% құрайды) үшін?
 10. Егер жергілікті желіде биттік картаның базалық хаттамасы пайдаланылатын болса, S станциясы, ең нашар жағдайда, тасымалдауды бастауды қанша уақыт күтеді?
 11. Екілік санау хаттамасында, төменгі нөмірлі станция дестені жөнелту мүмкіндігінен қалай айырылатындығын түсіндіріңіз?
 12. 1-ден 16-ға дейін нөмірленген он алты станция, ортақ арнаны қолдану үшін адаптивті ағаш бойымен жылжу хаттамасын пайдаланып бәсекелеседі. Егер нөмірі жай сан болып келетін станциялардың барлығы бірден тасымалдауға дайын болса, дауды шешу үшін қанша уақыт интервалы қажет?
 13. A, B, C, D және E станцияларын қарастырайық. A станциясы барлық станциялармен хабарласа алады. B станциясы A, C және E станциясымен хабарласа алады. C станциясы A, B және D -мен хабарласа алады. D станциясы A, C және E -мен хабарласа алады. E станциясы A, D және B -мен хабарласа алады.
 - 1) A, B -ға жөнелткенде, басқа қандай коммуникациялар болуы мүмкін?

- 2) В А-ға жөнелткенде басқа қандай коммуникациялар болуы мүмкін?
- 3) В С-ға жөнелткенде басқа қандай коммуникациялар болуы мүмкін?
14. А-Ғ әріптерімен белгіленген алты станция өзара МАСА хаттамасы бойынша әрекеттеседі. Бірмезгілде екі дерек тасымалданатын жағдай туындауы мүмкін бе? Жауабыңызды түсіндіріңіз.
15. Жеті этажды офис ғимаратының әр этажында 15 офис бар. Әр офистің қабырғасында терминалды қосуға арналған ажырату нүктесі бар. Ажырату нүктелері тік жазықтықта, нүктелер арасындағы арақашықтық көлденеңінен де, тігінен де 4 м болатын тікбұрышты торды құрайды. Кез келген екі пар нүкте арасында тікелей тігінен, көлденеңінен және диагональ бойынша кабель жүргізуге болады деп алғанда, барлық нүктелерді байланыстыру үшін неше кабель керек екенін есептеңіз:
 - 1) Бір маршруттаушы бар «жұлдыз» конфигурациясы бойынша;
 - 2) 802.3 классикалық желісі бойынша.
16. Жылдамдығы 10 Мбит/с стандартты Ethernet жергілікті желісінің бодамен алғандағы жылдамдығы нешеге тең?
17. Классикалық Ethernet желісінің 0001110101 екілік тізбегі үшін манчестерлік код қалай жазылады?
18. Ұзындығы 1 км, жылдамдығы 10 Мбит/с CSMA/CD хаттамасы бар желіде (802.3 емес) сигналдың таратылу жылдамдығы 200 м/мкс құрайды. Жүйеде қайталауыштар жоқ. Деректер кадрының ұзындығы 32 биттік тақырыпты, бақылау қосындысын және басқа қосымша шығындарды қоса алғанда 256 битке тең. Алғашқы табысты кадр тасымалдаудан кейінгі уақыт интервалы, қабылдаушының 32-биттік растауы бар кадрды жөнелтуі үшін сақталады. Қақтығыстар жоқ деп пайымдап, қосымша шығындарды есептемегенде, деректер тасымалдау жылдамдығының тиімділігі қандай?
19. CSMA/CD хаттамасы бар желінің екі станциясы ұзын (бірнеше кадрдан тұратын) файлдарды жөнелтуге әрекет жасайды. Әр кадрды жөнелткеннен кейін олар өзара арна үшін екілік эксоненциалдық ұстамдық алгоритмі бойынша тартысады. Тартыстың k -раундта аяқталу ықтималдығы қандай? Тартыс кезеңіндегі раундтардың орташа саны қандай?
20. IP-дестені Ethernet желісі арқылы тасымалдау қажет. Дестенің ұзындығы, қызметші өрістерді қоса алғанда – 60 байт. Егер LLC қолданылмаса, Ethernet-кадрды толтыру қажет пе? Қолданылса ол неше байт?
21. Ұзын торап соңында қақтығыс болған жағдайда, жөнелтуші сол бастапқыдағы кадрды тасымалдау үшін Ethernet кадр 64 байттан қысқа болмауы керек. Алайда биттер классикалық Ethernet-ке қарағанда он есе жиі берілуі мүмкін. Жүйе қалайша кадрдың бастапқы ең кіші мөлшерін сақтап қалды?
22. Кейбір басылымдарда Ethernet кадрының ең үлкен ұзындығы 1522 байтқа тең (1500 байт емес) дегенді оқуға болады. Бұл басылым авторлары қателесе ме? Жауабыңызды түсіндіріңіз.
23. Gigabit Ethernet секундына неше кадр өңдей алады? Жауап берер алдында жақсылап ойланыңыз. Естеріңізге саламыз: нақты Gigabit Ethernet екендігінің маңызы зор.

24. Кадрларды бірінен соң бірін жасақтайтын екі технологияны атаңыз? Мұндай қасиеттің қолайлылығы неде?
25. 4.24-суретте *A*, *B*, *C* және *D* төрт станциясы көрсетілген. Сіз қалай ойлайсыз, соңғы екі станцияның қайсысы *A*-ға жақын орналасқан? Неге олай деп шештіңіз?
26. 802.11 хаттамасындағы RTS/CTS-тің MACA хаттамасындағы RTS/CTS-тен айырмашылығы аз екендігін көрсететін мысал келтіріңіз.
27. Бір қол жеткізу нүктесі бар сымсыз ЖЕЖ-де 10 клиенттік станция бар. Төрт станцияның деректер тасымалдау жылдамдығы 6 Мбит/с, келесі төртеуінің жылдамдығы 18 Мбит/с және қалған екеуінің жылдамдығы – 54 Мбит/с. Барлық он станция бірмезгілде деректер тасымалдағанда олардың әрқайсысының жылдамдығы қандай және
 - 1) TXOP қолданылмайды;
 - 2) TXOP қолданылады.
28. 802.11b жергілікті желісі арқылы, радиоарна бойымен, 11 Мбит/с жылдамдықпен 64-байттық кадрлар бірінен кейін бірі, 10^{-7} ықтимал қателікпен жөнелтілді делік. Тасымалдану кезінде орта есеппен, секундына неше кадр бұзылады?
29. 802.16 стандарты желісінің өткізгіштік жолақ ені 20 МГц арнасы бар. Осы арна арқылы абоненттік станция секундына неше бит жөнелте алады?
30. Желілерде қателерді анықтаудың және қайта тасымалдаудың орнына оларды түзетудің ыңғайлы екендігін дәлелдейтін екі себепті атаңыз.
31. WiMAX-тың 802.11-ге екі ұқсастығын және екі айырмашылығын атаңыз?
32. 4.31-суретте Bluetooth жүйесі құрылғыларының бірмезгілде екі пикожеліде бола алатындығы көрсетілген. Не себептен бір құрылғы екі желіде де негізгі құрылғы бола алмайды?
33. Базалық жылдамдықтағы үш слотты Bluetooth кадрлары деректер өрісінің ең үлкен мөлшері қандай? Жауабыңызды түсіндіріңіз.
34. 4.21-суретте физикалық деңгейдің бірнеше хаттамалары көрсетілген. Олардың қайсысы Bluetooth физикалық деңгейінің хаттамасын еске салады? Осы екі хаттаманың негізгі айырмашылығы неде?
35. 4.6.6-тарауда айтылғандай, бір кодтау слоты бар кадрдың тиімділігі деректердің базалық жылдамдығында шамамен 13%-ды құрайды. Егер оның орнына 5-слотты кадр қолданылса, ол қаншалықты тиімді?
36. 802.11-нұсқасындағы, жиілік секірісі бар «маяк» кадрдың жету уақыты бар. Қалай ойлайсыз, Bluetooth-де сәйкес «маяк» кадрлардың да жету уақыты бар ма? Жауапты талқылаңыздар.
37. RFID-оқығыш төңірегінде 10 белгі бар делік. Q-дің ең жақсы мәні нешеге тең? Осы слотта бір белгінің қақтығыссыз жауап беру ықтималдығы қандай?
38. RFID жүйесі қауіпсіздік мәселелерінің кейбіреуін атаңыз.
39. Fast Ethernet жұмысына арналған коммутатордың 10 Гбит/с жылдамдықпен деректер тасымалдайтын біріктірілген платасы бар. Осындай коммутатор секундына неше кадр өңдей алады?

40. Күту уақыты бар (store-and-forward) және толассыз (cut-through) коммутатор арасындағы айырмашылықты қысқаша сипаттаңыз.
41. 4.38-суретіндегі В1 және В2 станциялары бар кеңейтілген ЖЕЖ қарастырыңыз. Екі көпірдегі хэш-кесте бос деп алыңыз. Келесі деректер тасымалдау тізбегі үшін десте жөнелтілетін порттарды атаңыз:
- 1) А С-ға десте жөнелтеді.
 - 2) Е F-ке десте жөнелтеді.
 - 3) F E-ге десте жөнелтеді.
 - 4) I E-ге десте жөнелтеді.
 - 5) D A-ға десте жөнелтеді.
 - 6) B F-ке десте жөнелтеді.
42. Бұзылған кадрларды өңдеу кезінде, күту уақыты бар коммутаторлардың толассыз коммутатор алдында артықшылығы бар. Неліктен екенін түсіндіріңіз.
43. 4.8.3-бөлімде айтқандай байланыстырушы ағашта көпір болмауы мүмкін. Байланыстырушы ағашта көпір болмайтын жағдайға жалпы сипаттама беріңіз.
44. Виртуалды желі жұмыс жасау үшін көпір және коммутаторларға конфигурациялық кесте керек. Егер 4.44-суретте көрсетілген виртуалды желіде коммутатор орнына концентратор пайдаланса не болады? Оларға конфигурациялық кесте қажет бола ма? Жауабыңызды түсіндіріңіз.
45. 4.45-суретте кәдімгі соңғы домен коммутаторы (оңжақта) ВЖЕЖ-үйлесімді. Мұнда қарапайым коммутатор қоюға бола ма? Жауабыңызды түсіндіріңіз.
46. Арна бойымен кадр тасымалданып жатқан кезде тасымалдауға дайын, станциясы бар Ethernet жүйесінің, CSMA/CD хаттамасының іс-әрекетін симуляциялайтын программа жазыңыз. Программа, әр станцияның өз кадрын табыспен тасымалдай бастаған сәтінің уақыттық белгісін шығаратын болсын. Сағат өз қалып-күйін әр такта (51,2 мкс) өзгертсін және осы жайлы хабарлау үшін әдейі кедергіні жөнелту қақтығысын анықтауда бір такт уақыт алады. Барлық кадрлар рұқсат етілген ең үлкен ұзындыққа ие.

5

ЖЕЛІЛІК ДЕҢГЕЙ

Желілік деңгей жөнелтушіден қабылдаушыға дейін дестелерді жеткізу маршрутын құрастырумен айналысады. Тағайындалған пунктке жету үшін дестеге маршруттауыштар арасындағы бірнеше транзиттік бөлімдерден өту керек болады. Желілік деңгейде атқарылатын функциялар мақсаты кадрды сымның бір басынан екіншісіне жеткізу болған, арналық деңгей әрекетінен мүлдем ерекше. Сонымен, желілік деңгей – деректерді бүкіл жолдың бір басынан екіншісіне жеткізетін ең төменгі деңгей.

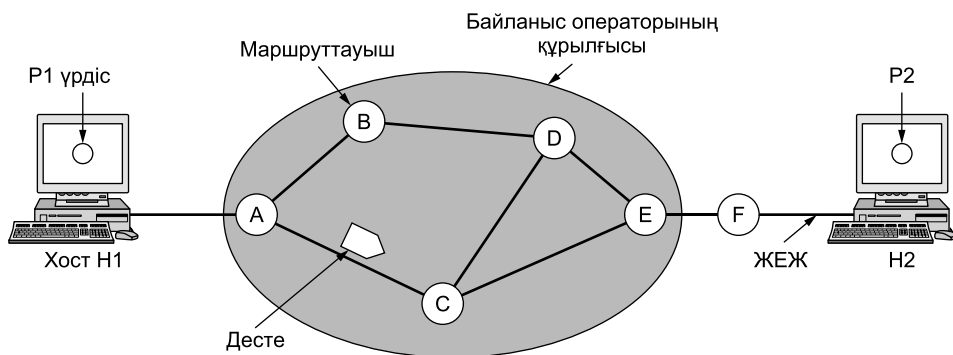
Осы мақсатқа жету үшін желілік деңгей желінің топологиясы (барлық маршруттауыштар және байланыстар) жайлы ақпараты білуі және желі тым үлкен болса да, осы желідегі қажет жолды таңдай білуі керек. Маршруттауыштарды таңдау кезінде ол маршруттауышқа және байланыс торабына түсетін жүктеменің мүмкіндігінше біркелкі болуын қадағалауы қажет. Соңында, егер дереккөзі мен қабылдаушы әртүрлі желіде орналасқан болса, желілік деңгей әртүрлі желілермен байланысты мәселелерді шеше білуі керек. Осы тарауда біз аталған мәселелердің барлығын қарастырып, оларды негізінен Интернет және оның желілік деңгей хаттамасы – IP мысалында көрсетуге тырсамыз.

5.1. ЖЕЛІЛІК ДЕҢГЕЙДІ ЖОБАЛАУ СҰРАҚТАРЫ

Келесі тарауларда біз желілік деңгейді құрастырушылар кездескен бірнеше сұрақтарға тоқталамыз. Бұл сұрақтарға трансплорттық деңгейге ұсынылатын қызметтер және желінің ішкі құрылымы жатады.

5.1.1. Дестелерді күтумен коммутациялау тәсілі

Желілік деңгейді егжей-тегжейлі қарастырмас бұрын, оның қандай ортада жұмыс жасайтынын еске түсіру керек. Ол *5.1-суретте* көрсетілген. Желінің негізгі компоненттері, боялған дөңгелек ішінде көрсетілген, интернет-провайдер құрылғылары (байланыс торапымен байланысқан маршруттауыштар), сонымен бірге дөңгелек сыртында көрсетілген клиент құрылғылары. Н1 хосты А интернет-провайдерінің маршруттауышына тікелей жалғанған (мысалы, үйдегі DSL-модемге жалғанған компьютер). Н2 хосты керісінше, ЖЕЖ-де орналасқан, онымен жұмыс жасайтын клиентке тиесілі F маршруттауышына жалғанған (мысалы, офистік Ethernet желіде). Бұл маршруттауыш, бөлінген торап арқылы интернет-провайдермен байланысады. Алайда, бұл тарауда біз клиент маршруттауышын интернет-провайдер желісінің бөлігі ретінде қарастырамыз. Себебі олар да интернет-провайдер маршруттауышында қолданылатын алгоритммен жұмыс жасайды (негізгі қарастыратын мәселе алгоритм болмақ).



5.1-сурет. Желілік деңгей хаттамалары жұмыс жасайтын орта

Жүйе келесідей жұмыс жасайды. Жөнелтілетін дестесі бар хост оны жақын арадағы не өз ЖЕЖ-нің маршруттауышына, не екі нүктелік байланыс арқылы интернет-провайдерге жібереді. Ол жерде десте толығымен, бақылау қосындысы идентификаторымен бірге қабылданып, өңделгенше сақталады. Содан кейін, маршруттауыштар тізбегімен, тағайындалған пунктке жетеді. Мұндай механизм дестелерді күтумен коммутациялау (store-and-forward) деп аталады, біз оны алдағы тарауларда қарастырғанбыз.

5.1.2. Транспорттық деңгейге ұсынылатын қызметтер

Желілік деңгей транспорттық деңгейге, желілік және транспорттық деңгейлер арасындағы интерфейс арқылы қызмет ұсынады. Ең маңызды сұрақ, ұсынылатын

қызмет түрі. Мұндай қызметтерді құрастыру ұқыптылықты талап етеді және келесі шарттарды есепке алу қажет:

- Желілік деңгей қызметтері маршруттауыш технологиясына тәуелді болмауы керек.
- Транспорттық деңгей маршруттауышы бар ішкі желілердің санына, типіне және топологиясына тәуелсіз болуы керек.
- Транспорттық деңгейге қолжетімді желілік адресстер ортақ жүйе нумерациясын пайдалануы керек, тіпті жергілікті және ауқымды желілер арасында да.

Алдыға қойылған есептер шеңберінде, құрастырушылар транспорттық деңгейге ұсынылатын қызметтер ерекшелігін егжей-тегжейлі жазуда абсолютті еркін. Бұл еркіндік, көбіне екі топ арасындағы бітпес тартысқа айналады. Тартыс ортасында, желілік деңгей қандай қызметтер – байланысуға бағытталған немесе байланысуды қажет етпейтін қызметті, ұсынуы керек деген сауал туындайды.

Бір лагер (интернет-бірлестігі ұсынған) маршруттауыш жұмысы, тек дестелерді бір орыннан екінші орынға ауыстыру деп санайды. Бұл тұрғыдан (нақты компьютерлік желілермен қырық жылдан астам жұмыс тәжірибесіне негізделген) алғанда желі, қалай жобаланғанына қарамастан туа біткен сенімсіздікке ие. Хосттар осыны ескеріп, қателіктерден өз бетінше (демек, қателіктерді анықтап, түзетумен айналысу) қорғануы, сонымен бірге ағынды басқаруы тиіс.

Бұдан желілік қызметтің байланысты талап етпейтін қызмет және негізінен қарапайым SEND PACKET (дестені жөнелту) және RECEIVE PACKET (дестені қабылдау) командалардан тұруы керек. Сондай-ақ, мұнда дестелерді реттеу және ағынды бақылауды енгізуге болмайды, бұл әрекеттерді бәрібір хост орындайды. Бір жұмысты екі рет орындағаннан қызмет сапасы өспейді. Бұлай ойлау – Интернеттің қалыптасуына едәуір әсер еткен, «толассыз» **принципті (end-to-end argument)** қолдану мысалы (Saltzer және басқалар, 1984). Бұдан басқа, тасымалдау алдыңғы дестелерге тәуелсіз жүргізілетін болғандықтан, әр дестеде қабылдаушының толық адресі көрсетіледі.

Басқа лагерь, телефон компанияларымен ұсынылған, желі сенімді және байланысқа бағытталған болуы тиіс дейді. Олар, 100 жыл бойы бүкіл әлемде телефон жүйесін басқару – олардың есебіндегі салмақты аргумент деп санайды. Олардың пікірінше, қызмет сапасы негізгі фактор және желіде байланыс орнатылған қандай да бір нәтижеге жету, әсіресе нақты уақыт масштабындағы трафик жайлы сөз қозғағанда өте қиын, мысалы, дауысты немесе видеоны тасымалдағанда.

Бұл тартыс бірнеше ондаған жыл өтсе де өзекті. Ертеде ең көп таратылған деректер тасымалдау желісі (70-жылдары пайдаланылған X.25 және 80-жылдары танымал Frame Relay) байланысқа бағытталған болатын. Алайда, ARPANET пайда болғаннан кейін және Интернеттің алғашқы даму сатысында, байланыссыз желілік деңгейлер өте танымал болды. Қазір IP хаттамасы – кезбе табыс символы. Оның танымалдығына, 80-жылдары IP алмастыру үшін, байланысқа бағытталған ATM технологиясының пайда болуы да әсер еткен жоқ. Қазіргі кезде ATM тек жеке жағдайда ғана пайдаланылады, ал IP қарауында бүкіл телефон желісі. Алай-

да, сапаға деген талаптың өсуі, Интернет дамуына қызмет етуде байланысқа бағытталған жаңа мүмкіндіктердің пайда болуын болжайды. Мұндай технологиялар мысалы ретінде, осы тарауда қарастырылатын MPLS (MultiProtocol Label Switching, «белгілер бойынша мультихаттамалық коммутация») және *4-тарпуда* қарастырылған VLAN айтуға болады. Екі технология да қазір кеңінен қолданылады.

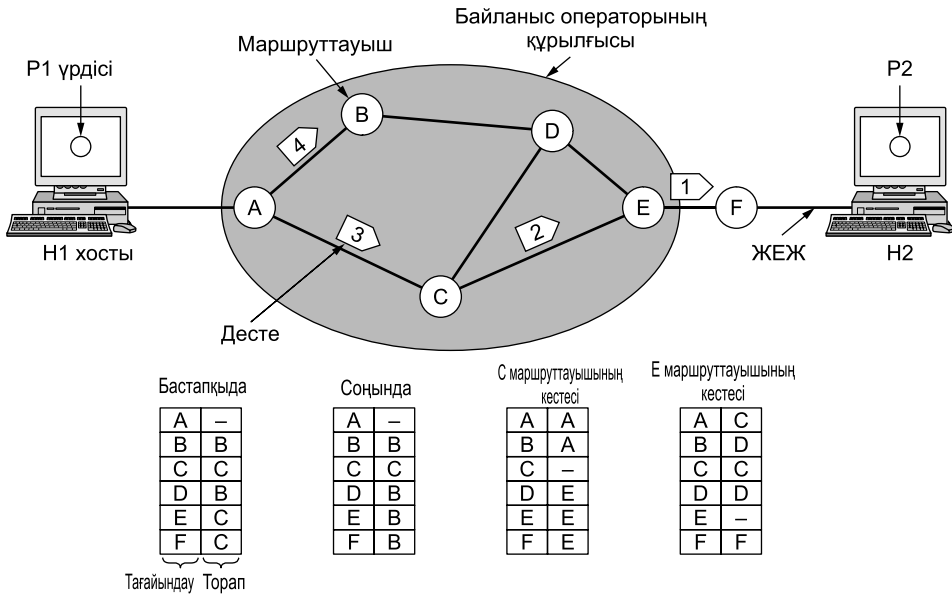
5.1.3. Байланыссыз қызмет көрсетуді іске асыру

Желілік деңгей өз тұтынушыларына ұсына алатын қызмет түрінің екі класын қарастырып, енді осы деңгейдің құрылғыларын талқылауға көшуге болады. Қызмет түріне байланысты екі нұсқа болуы мүмкін. Егер қызметті байланыссыз көрсететін болсақ, дестелер желіге жеке-жеке енгізіледі және олардың маршруттары тәуелсіз есептеледі. Мұндай ешқандай алдын-ала баптау қажет емес. Бұл жағдайды дестелерді көбіне, телеграммаларға сәйкестендіріп, **дейтаграмма (datagrams)**, ал желіні **дейтаграммалық (datagrams network)** деп атайды. Байланысқа негізделген қызмет түрін пайдаланған кезде, маршруттауыш-жөнелтушіден маршруттауыш-қабылдаушыға дейінгі бүкіл жол, қандай да бір дестені тасымалдауды бастамас бұрын орнатылуы керек. Мұндай байланыс, телефон жүйесінде орнатылатын физикалық арнаға сәйкестендіріліп, **виртуалды арна (VC, Virtual Circuit)** деп аталады. Бұл жағдайда желі **виртуалды арна желісі (virtual-circuit network)** деп аталады. Осы бөлімде біз дейтаграммалық желілерді талқылаймыз, келесіде – виртуалды арна желісін.

Дейтаграммалық желілер жұмыс принципін қарастырайық. P1 үрдісі (*5.2-суретте*) P2-ге ұзын мәлімдеме жібергісі келді делік. Ол өз мәлімдемесін транспорттық деңгейге жөнелтіп, оған деректерді H2 хостында жүріп жатқан, P2 үрдісіне жеткізу керек екендігін хабарлайды. Транспорттық деңгей коды H1 хостында орындалады; одан бетер, ол әдетте операциялық жүйе бөлігі болып келеді. Транспорттық деңгей тақырыбы мәлімдеме басына қойылады және сол күйінде желілік деңгейге беріледі. Әдетте бұл операциялық жүйенің тағы бір процедурасы.

Біздің мысалда, мәлімдеме дестенің ең үлкен ұзындығынан төрт есе үлкен делік, сондықтан желілік деңгей оны төрт дестеге (1, 2, 3 және 4) бөліп, қандай да бір екі нүктелік байланыс хаттамасының көмегімен, мысалы PPP, кезек-кезек A маршруттауышы на жөнелту керек. Осы жерде ойынға интернет-провайдер кіріседі. Әр маршруттауыштың, дестенің мүмкін деген тағайындалған адресінің әрқайсысы үшін, ары қарайғы жолын анықтайтын ішкі кестесі бар. Кестенің әр жазбасы екі өрістен тұрады: тағайындалған пункт (адресат) және осы адресат үшін шыққан торап. Екінші өрісте, осы маршруттауышпен тікелей байланысқан торап қолданылуы мүмкін. Мысалы, *5.2-суретте A* маршруттауышының тек екі шығыс торапы бар – B-ға және C-ға баратын. Сондықтан шыққан дестелердің барлығы осы екі маршруттауыштың біріне баруы керек, тіпті олар адресат болмаса да, A маршруттауышының бастапқы кестесі суретте сәйкес жазудың астында келтірілген.

А маршруттауышында кіріске келген 1, 2 және 3 дестелері бақылау қосындысын верификациялау үшін қысқа уақыт ішінде сақталады. Содан кейін, А кестесі бойынша әр десте шығыс байланысы бойынша, жаңа кадрды пайдалану арқылы С маршруттауышына жөнелтіледі. Осыдан кейін, 1 десте Е-ге кетеді, ол жерден жергілікті желінің F маршруттауышына жеткізіледі. Ол F-ке жеткен кезде, кадр ішінде ЖЕЖ бойынша Н2 хостына беріледі. 2 және 3 дестелер де осы маршрут бойынша жөнелтіледі.



5.2-сурет. Дейтаграммалық ішкі желі ішінде маршруттау

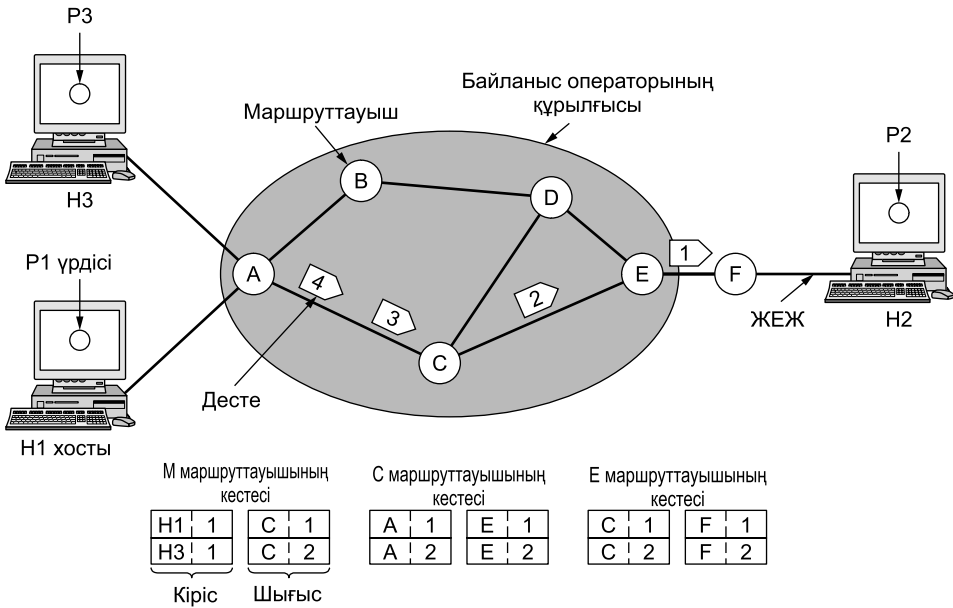
Алайда 4-ші дестемен жағдай басқаша. А маршруттауышына келгеннен кейін, тағайындалған адресі алғашқы үш дестелердегідей F болғанына қарамастан, ол В маршруттауышына жөнелтіледі. Қандай да бір өз себептері бойынша А маршруттауышы 4-ші дестені жаңа маршрут бойынша жөнелтеді. Мүмкін, бұл ACE торапындағы үш дестені бірдей жөнелткендіктен пайда болған кептеліс салдары болар, нәтижесінде маршруттауыш өз кестесін жаңартуды шешті (суретте «В соңы» деген жазбамен көрсетілген). Маршруттау кестесін басқаратын және шешім қабылдайтын алгоритм **маршруттау алгоритмі (routing algorithm)** деп аталады. Бұл тарауда негізінен нақты маршруттау алгоритмдеріне аса назар аударылады. Біз көретіндей мұндай алгоритмдердің бірнешеуі бар.

Интернет желісінің негізін құрайтын IP (Internet Protocol), желінің байланыссыз қызмет көрсетуінің айқын мысалы бола алады. Әр дестенің тағайындалған IP-адресі болады. Осы адресінің көмегімен маршруттауыш дестені жеке жөнелтеді. IPv4 дестелерінде ұзындығы 32 бит адрес қолданылады, ал IPv6-да – 128 бит. IP хаттамасы жайлы толығырақ біз осы тарауда айтамыз.

5.1.4. Байланыспен қызмет көрсетуді іске асыру

Байланыспен қызмет көрсету үшін виртуалды арна желісі қажет. Оның жұмысын қарастырайық. Виртуалды арна идеясы, 5.2-суретте көрсетілгендей, маршруттауыштың таңдау жасауын болдырмау. Оның орнына жөнелтушіден қабылдаушыға дейінгі маршрут байланыс орнату кезінде таңдалып, маршруттауышқа енгізілген арнайы кестеде сақталады. Бір маршрут, орнатылған байланыс арқылы өтетін, бүкіл тариф үшін пайдаланылады. Телефон жүйесі де дәл осылай жұмыс жасайды. Байланыс үзілген кезде, виртуалды арна да жойылады. Байланыспен қызмет көрсету түрін таңдаған кезде, әр дестеге виртуалды арна идентификаторы енгізіледі.

Мысал ретінде, 5.3-суретте көрсетілген жағдайды қарастырайық. N1 хосты N2 хостымен байланыс орнатады. Байланыс есте сақталып, барлық маршруттау кестесінің бірінші жазбасы ретінде жазылады. Сонымен, A маршруттауышы кестесінің бірінші жолы, егер N1 хостынан байланыс идентификаторы 1 десте келсе, онда дестені байланыс идентификаторы 1 деп C-ға жөнелту керек. Дәл осылай, C-ның бірінші жазбасы, дестені E-ге сол байланыс идентификаторымен жөнелтеді.



5.3-сурет. Виртуалды арна желісінде маршруттау

Енді N3 хосты N2-мен байланыс орнатқысы келсе, не болатынын қарастырайық. Ол 1-ші байланыс идентификаторын таңдап (онда ешқандай таңдау жоқ, себебі әзірше бұл жалғыз байланыс), желіден виртуалды арна орнатуды сұрайды. Сөйтіп, кестеде екінші жазба пайда болады. Бұл жерде негізінен шиеленіс пай-

да болатынына назар аударыңыз. Себебі, егер А Н1-ден келген 1-ші байланыс идентификаторын, Н3-тен келген 1-ші байланыс идентификаторын ажырата алса, С-ның мұндай мүмкіндігі жоқ. Сол себептен, А шығыс трафигіне жаңа байланыс идентификаторын беріп, екінші байланысты орнатады. Осындай шиеленісті болдырмау, маршруттауыштарға шығыс дестелерінің байланыс идентификаторын өзгерту мүмкіндігін берудің негізгі себебі. Кейде бұл үрдіс белгілерді коммутациялау (*label switching*) деп аталады. Байланысқа бағытталған желілік қызметтердің бір түрі **MPLS (MultiProtocol Label Switching, «белгілер бойынша мультихаттамалық коммутациялау»)** болып келеді. Ол интернет-провайдерлер желісінде қолданылады. Бұл жағдайда IP-дестелер, 20-биттік байланыс идентификаторынан немесе белгіден тұратын, MPLS-тақырыпқа ие болады. Егер интернет-провайдер үлкен көлемдегі деректерді тасымалдау үшін ұзақ байланыс орнатса, MPLS көбіне тұтынушыларға көрінбейтін болып қалады. Алайда, ол қазір, қызмет көрсету сапасы алдыңғы қатарға шыққан кезде, әлдеқайда қажет болып келеді. Сонымен бірге, деректер алмасумен байланысты басқа да жағдайларда өте қажет. MPLS-ды талқылауға бұл тарауда біз тағы да ораламыз.

5.1.5. Виртуалды арна желісін және дейтаграммалық желіні салыстыру

Виртуалды арна тәрізді дейтаграммалардың да өз жақтаушылары және қарсыластары бар. Екі жақтың да аргументтерін қарастырып көрейік. Негізгі қырлары 5.1-кестеде келтірілген, алайда бұл кестенің әр жолына контраргумен табуға болады.

5.1-кесте.

Виртуалды арна және дейтаграмманы салыстыру

Мәселе	Дейтаграммалар	Виртуалды арналар
Арнаны орнату	Қажет емес	Қажет
Адрестеу	Әр дестеде жөнелтуші мен қабылдаушының толық адресі бар	Әр дестеде виртуалды арнаның қысқа нөмірі бар
Қалып-күй жайлы ақпарат	Маршруттауышта қалып-күй жайлы ақпарат жоқ	Әр виртуалды арна маршруттауыш кестесінен орын талап етеді
Маршруттау	Әр десте маршруты тәуелсіз таңдалады	Маршрут виртуалды арна орнату кезінде таңдалады. Әр десте осы маршрутпен жүреді.
Маршруттауыштың істен шығуының әсері	Жоғалған дестелерден басқа ешқандай	Істен шыққан маршруттауыш арқылы өтетін виртуалды арналардың барлығы жойылады.

Қызмет көрсету сапасын қамтамасыз ету	Жүзеге асыру қиын	Әр виртуалды арна үшін ресурстар жеткілікті болған жағдайда жеңіл іске асырылады.
Шектен тыс жүктелумен күресу	Жүзеге асыру қиын	Әр виртуалды арна үшін ресурстар жеткілікті болған жағдайда жеңіл іске асырылады.

Желі құрастырудың екі жолы да, біршама сұрақтар бойынша қандай да бір келісімге келіп отырады. Біріншіден, байланысты орнату уақыты және адресіті өңдей уақыты арасында келісім бар. Виртуалды арна, оны орнатуға уақыт шығындауды қажет етеді, алайда, нәтижесінде дестелерді өңдеу жеңілдейді. Дестені қайда жөнелту керек екендігін білу үшін маршруттауышқа арнаның нөмірін біле отырып, тек кестеге қарау жеткілікті. Дейтаграммалық желі байланысты талап етпейді, алайда тағайындалған адресіті анықтау күрделі іздеу процедурасының көмегімен жүргізіледі.

Мұнымен байланысты, келесі мәселе: дейтаграммалық желілерді тағайындалған адрес виртуалды арна желісіндегі арна нөміріне қарағанда әлдеқайда ұзын, себебі олардың маңызы ауқымды. Мөлшері кішігірім дестелерде, тағайындалған адресіті әр дестеге толығымен қосқан кезде, әлдеқайда шығынға әкеледі және өткізгіштік қабілеттілікті төмендетеді.

Тағы бір мәселе – маршруттауыштың кестені сақтауға жұмсайтын жады мөлшері. Дейтаграммалық желілерде, мүмкін деген кез келген тағайындалған адрес үшін орын қарастырылуы тиіс. Ал, виртуалды арнада – тек әр арна үшін. Алайда, бұл артықшылық іс жүзінде алдау болып келеді, себебі, дестелер байланыс орнатуда дейтаграммадағыдай тағайындалған адресіті пайдаланады.

Виртуалды арнаның, кепілденген сапаны қамтамасыз ету және желідегі кептелісті болдырмау тәрізді кейбір артықшылықтары бар. Себебі, ресурстар (буфер, өткізгіштік қабілет, орталық процессор уақыты) алдын ала, байланыс орнату кезінде қорға қойылады. Дестелер келе бастаған кезде, қажет өткізгіштік қабілет және маршруттауыш қуаты қамтамасыз етіледі. Дейтаграммалық желіде кептелісті болдырмау әлдеқайда күрделі.

Транзакцияларды өңдеу жүйелерінде (мысалы, кредиттік соманы верификациялау жайлы дүкен сұранысы) байланысты орнатуға үстеме шығын және қашықтықтағы виртуалды арна желінің тұтынушылық қасиетін қатты төмендетуі мүмкін. Егер бір байланыс кезінде тасымалданатын ақпарат көлемі аз болса, онда виртуалды арнаны пайдаланудың мағынасы жоқ. Алайда, бір компания ішінде VLAN арқылы деректермен алмасу тәрізді, ұзақ операциялар кезінде, тұрақты виртуалды арна (қолмен орнатылып, айлап, тіпті жылдап үзілмейтін) пайдалы болуы мүмкін.

Виртуалды арналардың кемшілігі – маршруттауыш уақытша істен шыққан кездегі олардың әлсіздігі. Тіпті ол түзетіліп, бірден іске қосылған жағдайда да ол

арқылы өткен барлық виртуалды арналар жоғалады. Егер дейтаграммалық желіде маршруттауыш істен шықса, тек осы кезде маршруттауышта болған дестелер ғана жоғалады (тіптен, олардың да жоғалмауы ықтимал, себебі жөнелтуші бірден қайта тасымалдауды орындайды). Виртуалды арналар үшін байланыстың үзілуі фаталды болып келеді, ал дейтаграммалық желіде ол байқалмайды да. Бұдан басқа, дейтаграмаалық жүйе маршрутизаторларды жүктеу мен байланыс торабы арасында тепе-теңдікті сақтауға мүмкіндік береді.

5.2. МАРШРУТТАУ АЛГОРИТМДЕРІ

Желілік деңгейдің негізгі функциясы дестелер үшін бастапқы нүктеден соңғы нүктеге дейінгі маршрутты таңдау. Көптеген желілерде дестелерге бірнеше маршруттауыштардан өтуге тура келеді. Жалғыз ерекшелік кеңтаратылымды желілер, тіпті оларда да, жөнелтуші мен қабылдаушы желінің әртүрлі сегменттерінде орналасса, маршруттау маңызды сұрақ болып саналады. Маршрутты таңдау алгоритмі және қолданыстағы деректер құрылымы желілік деңгейді жобалаудағы маңызды бөлік болып саналады.

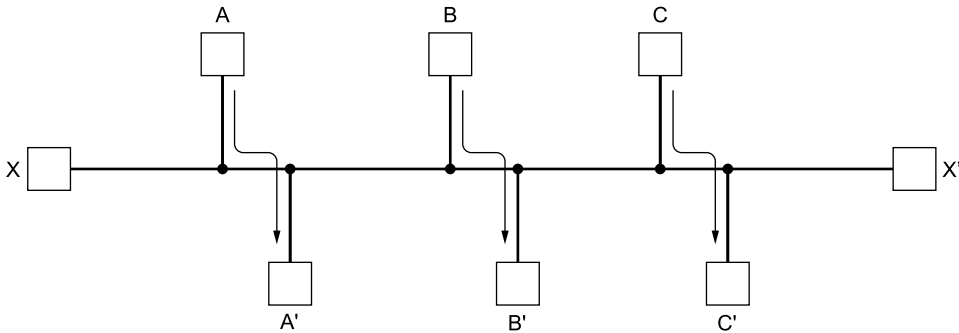
Маршруттау алгоритмін желілік деңгей программалық жабдықтамасының келген дестені жөнелтетін шығыс торапты таңдауға жауап беретін бөлігі жүзеге асырады. Егер желі дейтаграммалық қызметті пайдаланатын болса, әр десте үшін маршрутты таңдау қайталап жүргізіледі, себебі оңтайлы маршрут өзгеруі мүмкін. Егер желі виртуалды арнаны пайдаланатын болса, маршрут тек жаңа виртуалды арнаны құрастырған кезде таңдалады. Осыдан кейін, барлық ақпараттық дестелер тағайындалған маршрут бойынша жөнелтіледі. Соңғы жағдайда, маршрут байланыс сеансы бойында тұрақты болып қалатындықтан (мысалы, сіз VPN желісіне қосылып тұрған уақыт аралығында), кейде оны **сеанстық маршруттау (session routing)** деп атайды.

Жүйеге қандай да бір маршрутты таңдау керек болатын маршруттау және дестені алған кезде қарапайым жөнелту әрекетінің арасындағы айырмашылықты түсінген жөн. Маршруттауышты екі үрдісті орындайтын құрылғы ретінде қарастыруға болады. Оның біріншісі, келген дестелерді өңдеп, олар үшін маршруттау кестесінен шығыс торапты таңдайды. Бұл үрдіс **жіберу (forwarding)** деп аталады. Екіншісі – маршруттау кестесін толтыру және жаңарту. Міне, осы жерде іске маршруттау алгоритмі кіріседі.

Маршруттың жөнелтілетін әр десте немесе бір рет байланыс үшін таңдалатына қарамастан, маршрут таңдау алгоритмі белгілі бір қиындатқыштарға ие болуы керек – дұрыстық, қарапайымдылық, сенімділік, тұрақтылық, шындылық және тиімділік. Дұрыстық және қарапайымдылық түсініктемені қажет етпейді, ал сенімділік бір қарағаннан қажет емес тәрізді. Үлкен желінің жұмыс барысында үнемі аппаратураның бұзылуы немесе топологияда өзгерістер болып отырады. Маршруттау алгоритмі, хосттардағы барлық есептерді тоқтатпай, топологиядағы және трафиктегі өзгерістермен жұмыс жасауы керек. Маршруттауыш әрбір істен шыққан сайын желінің қайта жүктелгенін елестетіп көріңіз!

Маршруттау алгоритмі, сонымен бірге, тұрақтылық қасиетіне ие болуы керек. Қаншалықты ұзақ жұмыс жасағанына қарамастан, ешуақытта тұрақты жолдар жиынтығына байланбаған, маршрут таңдау алгоритмдері бар. Тұрақты таңдау алгоритмі тепе-теңдік қалпына жетіп, сол күйде қалуы тиіс. Сонымен бірге, ол жолдар жиынтығын тепе-теңдік күйіне жеткенше, тез таба білуі қажет.

Шындылық және тиімділік тәрізді мақсаттар, сірә, ешқандай күмән тудырмайды – оған ешкім қарсы шыға қоймас – алайда, олар көбіне бірін-бірі жоққа шығарады. Мысал ретінде 5.4 суретте бейнеленген жағдайды қарастырайық. Айталық, А және А', В және В', сонымен бірге С және С' станцияларының арасындағы тафик тығыз, көлденең байланыс тораптары толық қаныққан деп есептелік. Жалпы деректер ағынын үлкейту үшін, Х және Х' станциялары арасындағы трафикті өшіріп тастау керек. Алайда, Х және Х' станцияларының бұл сұраққа деген көзқарасы басқаша. Демек, барлық станциялар арасындағы бөлінген трафик және желіні, ауқымды мағынада, тиімді пайдалану арасында келісім керек.



5.4-сурет. Шындық және тиімділік арасындағы келісім

Шындық және тиімділік арасындағы қатынасты табу үшін, нақты нені оңтайландыру керек екендігін шешу қажет. Желі бойымен деректер тасымалдау тиімділігін арттыру үшін орташа кідіріс уақытын кішірейту немесе желінің жалпы өткізгіштік қабілетін жоғарылату керек. Алайда, бұл екі мақсат бірін бірі жоққа шығарады, себебі кез келген жүйенің, ең үлкен өнімділік маңындағы жұмысы ұзақ уақыт кезекте тұруды қажет етеді. Көптеген желілер келісім ретінде десте жүретін арақашықтықты кішірейтуге тырысады немесе әр десте үшін қайта тасымалдау санын азайтады. Екі жағдайда да, әр десте үшін желі арқылы жүру уақыты төмендейді, нәтижесінде бүкіл желінің өткізгіштік қабілеті жақсарады.

Маршрутты таңдау алгоритмдерін екі негізгі класқа бөлуге болады: бейімделген және бейімделмеген. Бейімделмеген алгоритмдер маршрутты таңдау кезінде топологияны, желінің ағымдағы қалып-күйін ескермейді және тораптағы трафикті өлшемейді. Оның орнына, әр екі станция үшін маршрут алдын ала таңдалады және маршруттар тізімі маршруттауышқа желі жүктелген кезде енгізіледі. Мұндай процедура кейде статистикалық **маршруттау (static routing)** деп аталады.

Статистикалық маршруттау шалысқа әрекет етпейді, әдетте ол маршрут таңдауы айқын болған кезде қолданылады. Мысалы, 5.3-суреттегі F маршруттауышы, соңғы тағайындалған адреске тәуелсіз, E маршруттауышына желі бойымен тасымалданатын дестені жөнелтуі керек.

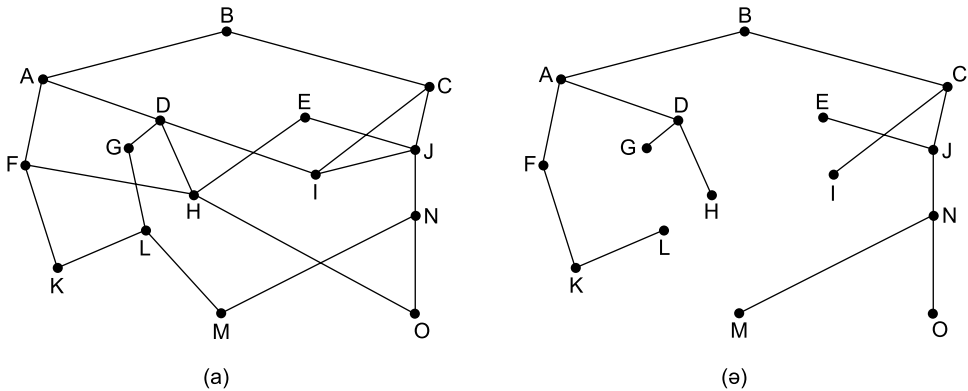
Бейімделген алгоритмдер, керісінше, топология өзгергенде және кейде торап жүктелуіне байланысты маршрутты таңдауды өзгертеді. Бұл **динамикалық маршруттау алгоритмдері (dynamic routing algorithms)**, ақпаратты алу көзімен (ақпарат көзі ретінде, мысалы, егер бұл көрші маршруттауыштар болса, жергілікті желі немесе ауқымды желінің барлық маршруттауыштары бола алады), маршруттар өзгеру сәттерімен (мысалы, топология өзгергенде немесе белгілі бір анықталған уақыт кезеңінде жүктеме өзгергенде) және оңтайландыру үшін пайдаланылатын деректермен (арақашықтық, транзиттік аумақтар санымен немесе қайта тасымалдауды күту уақытымен) ерекшеленеді.

Келесі бөлімдерде біз маршруттаудың түрлі алгоритмдерін талқылаймыз. Жөнелтуші көзінен тағайындалған орынға дестелерді тасымалдаудан басқа, алгоритмдер ақпаратты беру моделін қарастырады. Кейде дестені берілген тізім ішінен бірнеше адреске, барлығына немесе біреуіне жөнелту қажет болады. Біз қарастыратын алгоритмдердің барлығы шешімді топология негізінде қабылдайды. Деректер тасымалдау қарқындылығы жайлы сұрақты біз 5.3-бөлімде қарастырамыз.

5.2.1. Маршруттың тиімділік принципі

Жеке алгоритмдерді қарастыруға көшпес бұрын, мүмкін, топология немесе трафикке байланыссыз, тиімді маршрутты сипаттайтын қандай да бір жалпы жайды келтірген дұрыс шығар. Мұндай жалпылама идея **тиімділік принципі** болып салады (Беллман, 1957). Осы принципке сәйкес, егер J маршруттауышы, I маршруттауышынан K маршруттауышына дейінгі оңтайлы маршрутта орналасса, онда J маршруттауышынан K маршруттауышына дейінгі тиімді маршрут, бірінші маршрут бөлігіне сәйкес келеді. Дұрыстығын тексеру үшін I маршруттауышынан J маршруттауышына дейінгі маршруттың бір бөлігін r_1 деп белгілейік, ал қалған бөлігін r_2 . Егер, J маршруттауышынан K маршруттауышына дейін r_2 -ден басқа, қандай да бір оңтайлы маршрут бар болса, онда I маршруттауышынан K маршруттауышына дейінгі маршрутты жақсарту үшін, оны r_1 -мен біріктіруге болар еді. Бұл алғашқы $r_1 r_2$ маршруты оңтайлы деген тұжырымға қайшы келеді.

Тиімділік принципінің тікелей салдары барлық жөнелтуші көзден нақты қабылдауышқа дейінгі оңтайлы маршруттар жиынтығын, ағаш түрінде алып қарастыру мүмкіндігі. Жөнелтуші көз ағаш тамыры ретінде алынады. Мұндай ағаш **кіріс ағашы (sink tree)** деп аталады. Ол 5.5-суретінде бейнеленген. Арақашықтық транзиттік аумақтар санымен өлшенеді. Барлық таңдау алгоритмдердің мақсаты – кіріс ағашын есептеп, барлық маршруттауыштар үшін пайдалану.



5.5-сурет. Желі (а); маршруттауыштар үшін кіріс ағашы (б)

Кіріс ағашының бірегей болуы міндетті емес екеніне назар аударыңыздар. Бір желінің жол ұзындықтары бірдей бірнеше ағашы болуы мүмкін. Егер біз барлық жолдарды мүмкін деп санасақ, онда біз жалпы құрылымды аламыз және біздің ағашымыз бағытталған қайталанусыз граф (directed acyclic graph, DAG) деген атқа сәйкес келеді. Мұндай графтарда қайталану жоқ. Біз кіріс ағашы түсінігін екі нұсқаны да белгілеу үшін пайдаланатын боламыз. Бұл екеуі де жолдар бір біріне кедергі жасамайды (бұл, соның ішінде, бір жолдағы кептеліс басқа жолдың өзгеруіне әкеледі дегенді білдіреді) деген жорамалға негізделген.

Кіріс ағашы шынымен ағаш болғандықтан, онда қайталану жоқ. Сондықтан әр десте шектелген және аяқталған жөнелту санында жеткізіледі. Іс жүзінде бұл тіпті оңай емес. Байланыс тораптары мен маршруттауыштар, операцияны орындау барысында істен шығып, қайта қосылуы мүмкін, сондықтан әр маршруттауышта ағымдағы желі топологиясы жайлы әртүрлі түсінік болуы мүмкін. Бұдан басқа, біз маршруттауыштар кіріс ағашын есептеу үшін ақпаратты өздері жинай ма, әлде бұл ақпарат оған басқа жолмен келеді ме деген сұрақты қалдырып кеттік. Жақында біз бұл сұрақты да қарастырамыз. Сонда да, тиімділік принципі және кіріс ағашы – бұл түрлі маршруттау алгоритмдерінің тиімділігін өлшеуге болатын, санақ бас-талатын нүкте емес.

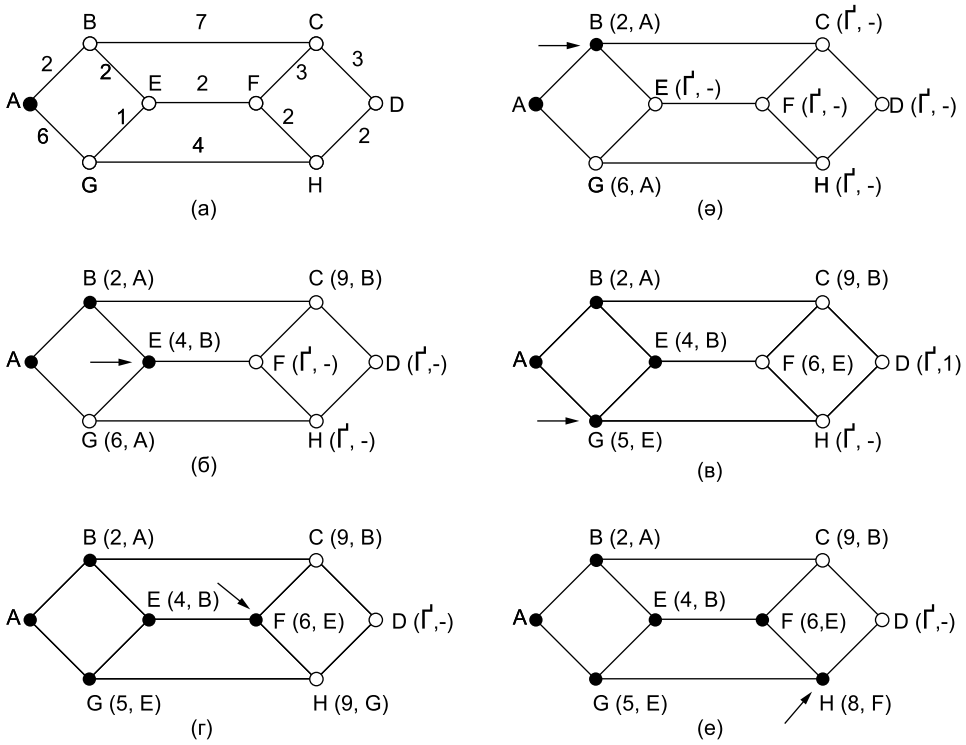
5.2.2. Ең қысқа жолды табу алгоритмі

Маршрутты таңдау алгоритмін қарастыруды, ең қарапайым, желі жайлы толық ақпаратты қажет ететін, ең қысқа жолды табу алгоритмінен бастаймыз. Таратылған алгоритмнің мақсаты – маршруттауышта желі жайлы толық мәлімет болмаған жағдайда да, осындай жолды табу.

Идея – әр түйін маршруттауышқа, ал әр қабырға байланыс торабына немесе жәй байланысқа сәйкес келетін желі графын тұрғызу. Екі маршруттауыш арасындағы маршрутты таңдау кезінде, алгоритм граф бойынша олардың арасындағы ең қысқа жолды табады.

Ең қысқа жол (shortest path) концепциясы біраз түсініктемені қажет етеді. Жол ұзындығын өлшеу тәсілдерінің бірі транзиттік аумақтарды санаудан тұрады. Бұл жағдайда, 5.6-суреттегі ABC және ABE жолдарының ұзындығы бірдей. Арақашықтықты километрмен өлшеуге болады. Онда ABC жолы ABE жолынан әлдеқайда ұзынырақ болады (сурет масштабты сақтай отырып салынды делік). Алайда, транзиттік аумақтар санын және тораптың физикалық ұзындығын есептеумен бірге басқа да параметрлерді ескеру қажет. Мысалы, графтың әр қабырғасына, сағат сайын өлшенетін, стандартты мәтіндік дестенің орташа кідіріс уақытын сәйкестендіруге болады. Мұндай графта ең қысқа жол, қабырғалар саны аз немесе километрмен алғанда ең қысқа жол емес, ең жылдам жол ретінде анықталады.

Жалпы жағдайда, граф қабырғасының параметрі арақашықтық, өткізгіштік қабілеттілік, орташа жүктелу, байланыс бағасы, өлшенген кідіріс шамасы және басқа факторлар функциясы болып саналады. Салмақтық функцияны өзгерте отырып, алгоритм, кез келген шарттар санын, әртүрлі комбинацияда есепке ала отырып, ең қысқа жолды санай алады.



5.6-сурет. А-дан D-ға дейінгі ең қысқа жолды есептеудің алғашқы алты қадамы. Бағыттауыш сызық жұмысшы түйінді көрсетеді

Графтың екі түйіні арасындағы ең қысқа жолды есептеудің бірнеше алгоритмі белгілі. Оның бірін әйгілі Дейкстрой (Dijkstra) 1959 жылы жасаған. Ол жөнелтуші

мен осы желідегі барлық мүмкін деген тағайындалған адрестер арасындағы ең қысқа жолды анықтайды. Әр түйін (жақша ішінде) жөнелтуші түйін мен өзіне дейінгі ең жақсы анықталған жолмен таңбаланады. Бұл арақашықтықтар теріс сан болмауы керек, егер ол өткізгіштік қабілеттілік және кідіріс уақыты тәрізді нақты шамаларға негізделген болса, бұл шарт орындалады. Бастапқыда жол белгісіз, сондықтан ол шексіздік таңбасы қойылады. Алгоритм жұмыс жасап, жолдар табылғаннан кейін түйін таңбалары өзгеріп, оңтайлы жолды көрсетеді. Таңба тұрақты немесе тәжірибелік болуы мүмкін. Бастапқыда барлық таңбалар бағдарлы болады. Таңбаның нақты сәйкес екені анықталғаннан кейін, ол тұрақты болып, ары қарай өзгертілмейді.

Бұл алгоритмнің қалай жұмыс жасайтынын көрсету үшін, 5.6 а-суретінде бейнеленген, өлшемді бағытталмаған графты қарастырайық. Мұнда өлшем коэффициенттері, мысалы, арақашықтыққа сәйкес келеді. Біз A -дан D -ға дейінгі ең қысқа жолды анықтаймыз. Бастапқыда біз A түйініне қара дөңгелекпен тұрақты ретінде таңба қоямыз. Сонан кейін біз барлық көршілес түйіндерді зерттеп, олардың жанына өздерінен A -ға дейінгі арақашықтықты қоямыз. Егер қандай да бір түйінге дейін қысқарақ жол табылса, онда таңбада арақашықтықпен бірге ең қысқа жол өткен түйін де өзгереді. Сөйтіп, кейінірек барлық жолды қалпына келтіруге болады. Егер желіде, A -дан D -ға дейін бірнеше ең қысқа жол болса, онда сол түйінге дейін бірдей арақашықтықты өтуге мүмкіндік беретін барлық жолды тауып, есте сақтаған дұрыс.

A -мен көршілес барлық түйіндерді қарастырып, біз жақын түйіндерге 5.6 ә-суретінде көрсетілгендей тұрақты деген таңба қоямыз. Бұл түйін жаңа, жұмысшы түйін болып саналады.

Біз енді осы процедураны B түйінімен, барлық көршілік түйіндерді зерттеп, қайталаймыз. Егер B түйініне дейінгі арақашықтық қосындысы және таңба мәні (A -дан B -ға дейінгі арақашықтық), зеттеліп жатқан түйін таңбасынан (басқа жолмен табылған A -ға дейінгі арақашықтық) кем болса, онда ең қысқа жол табылды дегенді білдіреді, нәтижесінде түйін таңбасы өзгереді. Көршілес жұмысшы түйіндердің барлығы зерттеліп, қажет жерде уақыт таңбасы өзгертілгеннен кейін, бүкіл граф бойынша уақыттық таңбасы ең кіші түйін ізделеді. Бұл түйін тұрақты ретінде белгіленіп, ағымдағы жұмысшы түйін таңбасы беріледі. Алгоритм жұмысының алғашқы алты қадамы 5.6-суретте көрсетілген.

Алгоритмнің қалай жұмыс жасайтынын түсіну үшін 5.6 б-суретіне назар аударайық. Бұл қадамда E түйіні тұрақты ретінде белгіленген. Айталық, ABE -ге қарағанда әлдеқайда қысқа жол бар, мысалы $AXYZE$ (кейбір X және Y үшін). Бұл жағдайда екі мүмкіндік бар – не Z түйіні тұрақты болды, не болған жоқ. Егер тұрақты болса, онда Z тұрақты, демек жұмысшы түйін болған кезде, E түйіні әлі тексерілген жоқ. Бұл жағдайда $AXYZE$ жолы зерттелген.

Енді Z түйіні әліде уақытша таңбасымен белгіленген жағдайды қарастырайық. Егер Z түйінінің таңбасы E түйінінің таңбасына тең болса, онда Z түйіні E түйінінен ертерек тұрақты болуы керек және E түйіні Z түйінінен тексерілер еді.

Бұл алгоритм 5.1-листингте келтірілген. Аукымды айнымалылар n және $dist$

графты сипаттайды және *shortest_path* шақырылғаннан бұрын инициализацияланады. Программаның жоғарыда айтылған алгоритмнен жалғыз айырмашылығы – ең қысқа жолды есептеу програмада *s* түйін-көзден емес, *t* соңғы түйіннен басталады.

Бір бағытталған графта *t*-дан *s*-ке дейінгі ең қысқа жол, *s*-тен *t*-ға дейінгі ең қысқа жолға тең болғандықтан, есептеуді қай басынан бастаудың айырмашылығы жоқ. Жолды кері бағытта іздеудің себебі, әр түйін кейінгі емес, алдыңғы түйінмен таңбаланады. Табылған жол *path* шығыс айнымалысына көшірілгенде ол инверсияланады. Екі инверсия нәтижесінде біз дұрыс бағыттағы жолды аламыз.

5.1-листинг. Граф бойынша ең қысқа жолды есептеудің Дейкстр алгоритмі

```
#define MA_NODES 1024 /* түйіндердің ең үлкен саны */
#define INFINITY 100000000 /* ең үлкен жол ұзындығынан үлкен сан */
int n, dist[MAX_NODES][MAX_NODES]; /*dist[i][j] i-ден j-ге дейінгі арақашықтық */

void shortest_path(int s, int t, int path[])
{ struct state { /*жұмысшы жол */
    int predecessor; /* алдыңғы түйін */
    int length; /* түйін-көзден осы түйінге дейінгі арақашықтық*/
    enum {permanent, tentative} label; /*қалып-күй белгісі */
}state[MA^NODES];

int i, k, min;
struct state ,p;

for (p = &state[0]; p < &state[n]; p++) { /*қалып-күйді инициализациялау */
    p->predecessor = -1;
    p->length = INFINITY;
    p->label = tentative;
}
state[t].length = 0; state[t].label = permanent;
k = t; /*k – бастапқы жұмысшы түйін */
do { /*k-дан басталатын жақсы жол бар ма? */
    for (i = 0; i < n; i++) /*бұл графта n түйін бар */
        if (dist[k][i] != 0 && state[i].label == tentative) {
            if (state[k].length + dist[k][i] < state[i].length) {
                state[i].predecessor = k;
                state[i].length = state[k].length + dist[k][i];
            }
        }
    /* алдын ала ең кіші таңбамен белгіленген түйінді іздеу */
    k = 0; min = INFINITY;
    for (i = 0; i < n; i++)
        if (state[i].label == tentative && state[i].length < min) {
            min = state[i].length; k = i;
        }
    state[k].label = permanent;
} while (k != s);
```

/* жолды шығыс массивке көшіру. */

i = 0; k = s;

do {path[i++] = k; k = state[k].predecessor;} while (k >= 0);

}

5.2.3. Құю

Маршруттау алгоритмін жүзеге асырған кезде кез келген маршруттауыш, желі жайлы толық ақпарат емес, жергілікті мәліметтер негізінде шешім қабылдауы тиіс. Қарапайым жергілікті шешімдердің бірі **құю (flooding)** деп аталатын, әр келген дестені, өзі келген тораптан басқа барлық шығыс тораптарға жіберу тәсілі.

Құю алгоритмі қайталанатын дестелерді көптеп тудыруы мүмкін, арнайы шара қолданылмаса, тұйық желілерде тіпті шексіз дестелер саны болуы мүмкін. Осындай шаралардың бірі – десте тақырыбына әр маршруттауыштан өткен сайын кеміп отыратын, жүріп өткен транзиттік аумақтар санауышын қосу. Санауыштың мәні нөлге жеткен кезде, десте жойылады. Мінсіз жағдайда транзитті аумақтар санауышының бастапқы мәні, жөнелтушіден қабылдаушыға дейінгі жол арақашықтығына тең болу керек. Егер жөнелтуші қабылдаушыға дейінгі арақашықтықты білмесе, онда ол санауыш мәнін осы желідегі ең ұзын жол (диаметр) мәніне теңестіріп қоюына болады.

Өту санауышын пайдаланып құю нәтижесінде, дестенің жөнелтілген көшірмелер саны маршруттауыш бір көрген дестені қайталап жібергенде, экспоненциалды өсуі мүмкін. Дестелердің тираждалу санын шектеудің жақсы әдісі – маршруттауыш арқылы өткен дестелерді есепке алу. Бұл дестелерді қайта жіберуді болдырмайды. Тәсілдің бірі, әр маршруттауыш өз хостынан алынған әр дестеге реттік нөмір береді. Барлық маршруттауыштар, өздеріне кездескен десте реттік нөмірі сақталатын, маршруттауыш-көз тізімін жүргізеді. Егер тізімде маршруттауыш-көзден келген десте нөмірі кездессе, ол арықарай таратылмай жойылады.

Тізімнің шексіз өсуін болдырмау үшін барлық тізімдерді k -ға дейінгі барлық нөмірден кездескенін көрсетіп отыратын, k санауышымен қамтамасыз етуге болады. Десте келгенде оның реттік нөмірін k -мен салыстырып, жеңіл тексеруге болады. Жауап оң болса, мұндай десте жойылады. Бұдан басқа, k -ға дейінгі барлық тізімді сақтаудың қажеті жоқ, себебі тізім бәрін жақсы қадағалайды.

Көп жағдайда, құю алгоритмін дестелерді жөнелту үшін пайдалану қолайсыз, бірақ кей жағдайда ол өте тиімді. Біріншіден, ол дестені желінің әр түйініне кепілді түрде жеткізеді. Егер дестені нақты бір жерге жеткізу қажет болса, бұл алгоритм өзін ақтамауы мүмкін. Алайда ол кеңтаратылымды жөнелту кезінде өте тиімді. Сымсыз желіде, станциялар жөнелтетін мәлідемелер, тасымалдауыш әрекет ететін радиустағы кез келген басқа станциямен қабылдануы мүмкін – бұл іс жүзінде құю болып саналады. Кейбір алгоритмдер осы қасиетті пайдаланады.

Екіншіден, құю тәсілі жоғары сенімділігімен ерекшеленеді. Тіпті маршруттауыштардың көп бөлігі жойылған (мысалы, егер қарулы шиеленіс аумақтарындағы әскери желі жайлы айтқанда) болса да, мәлідемені жеткізу үшін

кез келген басқа жол табылады. Бұдан басқа, құю баптауды тіптен қажет етпейді. Маршруттауыштар тек өз көршілерін білуі тиіс. Бұл құю алгоритмін, басқа әлдеқайда тиімді, бірақ баптауды қажет ететін алгоритм ішінде пайдалануға болады дегенді білдіреді. Сонымен бірге, құю алгоритмі желідегі мүмкін жолдардың барлығын, тіпті ең қысқа жолды да аңқытайтын болғандықтан, оны басқа маршрутты таңдау алгоритмдерін тестілеу кезінде эталон ретінде пайдалануға болады. Жеткізу уақытының эталондық көрсеткішін тек, құю алгоритмінің өзі құрастыратын тым үлкен дестелер санының үстеме шығыны бұзуы мүмкін.

5.2.4. Арақашықтық векторы бойынша маршруттау

Компьютерлік желілер, әдетте маршруттаудың динамикалық алгоритмін пайдаланады. Бұл алгоритмдер құю алгоритміне қарағанда әлдеқайда күрделі, сонымен бірге әлдеқайда тиімді, себебі олар ағымдағы топология үшін ең қысқа жолды табуға көмектеседі. Екі динамикалық алгоритм ең үлкен танымалдықпен ерекшеленеді: арақашықтық векторы бойынша маршруттау және арна қалып-күйін ескере отырып маршруттау. Бұл тарауда біз біршісін қарастырамыз, келесіде – екіншісін тәсілді қарастырамыз.

Арақашықтық векторы бойынша маршруттау (distance vector routing) алгоритмі барлық маршруттауыштар қолдайтын, ең қысқа жолдар, мүмкін деген барлық адресаттар және оларға қандай байланысты қолдану керек екендігі белгілі мәліметтер жазылған кестелер негізінде жұмыс жасайды. Бұл кестедегі деректерді жаңарту үшін, көршілес маршруттауыштармен ақпарат алмасылады. Нәтижесінде маршруттауыш кез келген тағайындалған адреске жетудің ең жақсы тәсілін біледі.

Арақашықтық векторы бойынша маршруттау алгоритмін кейде оны құрастырушы құрметіне **Беллман-Форд (Bellman-Ford)** таратылған алгоритмі деп атайды (Bellman, 1957; Ford және Filkerson, 1962). Бұл алгоритм бастапқыда ARPANET желісі үшін пайдаланылған және Интернетте ол RIP деген атпен танымал.

Арақашықтық векторы бойынша маршруттау кезінде, маршруттауыштар жұмыс жасайтын және жаңартып отыратын кестеде, желінің әр маршруттауышы жайлы жазба бар. Әр жазба екі бөліктен тұрады: нақты қабылдаушыға дұрысырақ торап нөмірі және ұсынылатын арақашықтық немесе дестенің осы қабылдаушыға дейінгі уақыты. Арақашықтық өлшемі ретінде транзиттік аймақтар санын немесе басқа өлшем бірлігін (ең қысқа жолды талқылағанда айтылған) пайдалануға болады.

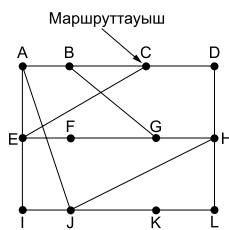
Маршруттауышқа, әр көршісіне дейінгі арақашықтық белгілі деп санаймыз. Егер өлшем бірлігі ретінде транзитті аймақтар саны алынатын болса, онда арақашықтық бір транзиттік аймаққа тең. Егер арақашықтық таралудың кідіріс уақытымен өлшенетін болса, онда маршруттауыш оны арнайы ЕСНО (жаңғырық) дестесінің көмегімен өлшей алады. Қабылдаушы бұл дестеге қабылданған уақытты көрсетіп, мүмкіндігінше жылдамырақ қайта жөнелтеді.

Айталық, өлшем бірлігі ретінде кідіріс уақыты пайдаланылады және

маршруттауыштың көршілері жайлы бұл параметр салыстырмалы түрде белгілі делік. Әр T мс сайын, маршруттауыштар өз көршісіне, әр қабылдаушының салыстырмалы кідіріс уақыты жайлы тізім жібереді. Олар, сәйкесінше мұндай тізімді барлық көршілерінен алады. Айталық, осындай тізім X көршіден келді делік және мұнда X маршруттауышынан i маршруттауышына дейінгі таралу уақыты X_i делінген. Егер маршруттауыш, X маршруттауышына дейінгі тасымалдау уақыты t екенін білсе, онда i маршруттауышына дестені X маршруттауышы арқылы жеткізу уақыты $X_i + t$ құрайды. Осындай есептеулерді өзінің барлық көршілері үшін орындап, маршруттауыш ең жақсы жолды таңдап, оны жаңа кестеге орналастыра алады. Назар аударыңыздар, ескі кесте есептеуде пайдаланылмайды.

Кестені жанарту үрдісі 5.7-суретте бейнеленген. 5.7 а-суретте желі көрсетілген. 5.7 ә-суретінің алғашқы төрт бағанасы J маршруттауышының өз көршілерінен алған кідіріс векторын көрсетеді. A маршруттауышы, өзінен B маршруттауышына дейінгі тасымалдау уақыты 12 мс, C маршруттауышына 25 мс, D маршруттауышына 40 мс және т.с.с. деп санайды. Айталық, J маршруттауышы өзінің A, I, H және K көршілерінің кідіріс уақытын өлшеп, сәйкесінше 8, 10, 12 және 6 мс деп бағалады делік.

Енді, J маршруттауышы өзінің G маршруттауышына дейінгі жаңа маршрутын қалай есептейтінін көрейік. Ол A -ның кідіріс уақыты 8 мс екенін біледі және A өзінен G дейін деректер 18 мс жетеді деп ойлайды. Сонымен, J дестелерді G -ға A арқылы жөнелтсе, кідірістің 26 мс болатынын біледі. Дәл осылай, ол G -ға дейінгі, басқа көршілері (I, H және K) арқылы өтетін маршрутты есептейді де, сәйкесінше 41 (31+10), 18 (6+12) және 37 (31+6) алады. Ең жақсы көрсеткіш 18, сондықтан, G қабылдауыштары үшін кестеге осы жазба енгізіледі. Кестеге 18 санымен бірге, G -ға дейінгі ең қысқа маршрут өтетін торап белгісі де жазылады, демек H . Осы тәсіл барлық қалған адресаттар үшін қайталанады, нәтижесінде суретте оң жақ бағана ретінде көрсетілген жаңа кесте алынады.



(а)

To	A	I	H	K	J-ден жаңа есептеу кідірісі
A	0	24	20	21	8 A
B	12	36	31	28	20 A
C	25	18	19	36	28 I
D	40	27	8	24	20 H
E	14	7	30	22	17 I
F	23	20	19	40	30 I
G	18	31	6	31	18 H
H	17	20	0	19	12 H
I	21	0	14	22	10 I
J	9	11	7	10	0 -
K	24	22	22	0	6 K
L	29	33	9	9	15 K

JA	JL	JH	JK
кідірісі	кідірісі	кідірісі	кідірісі
8	10	12	6
тең	тең	тең	тең

J-ның төрт көршісінен алынған векторлар

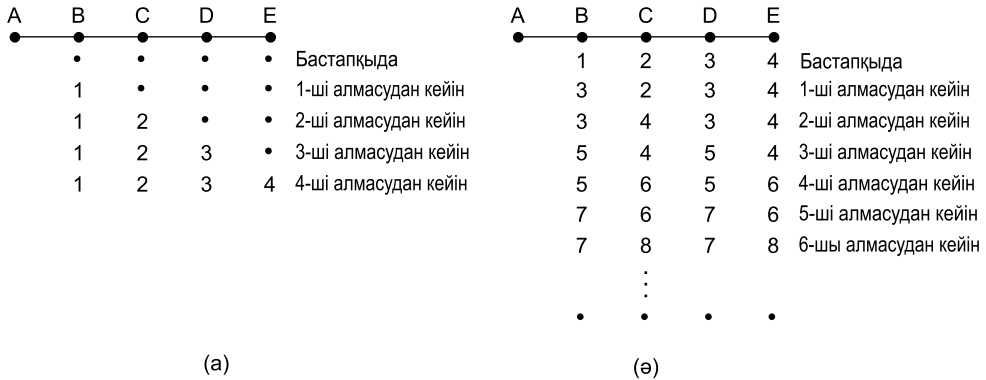
(ә)

5.7-сурет. Желі (а); A, I, H және K алынған векторлар және J үшін маршруттың жаңа кестесі (ә)

Шексіздікке дейін санау мәселесі

Ең қысқа жолға сәйкес маршрутты тағайындау желіде **конвергенция (convergence)** деп аталады. Арақашықтық векторы бойынша маршруттау алгоритмі – маршруттауыштарға бірлесіп ең қысқа жолды есептеуге мүмкіндік беретін, қарапайым тәсіл. Алайда, іс жүзінде оның айтарлықтай кемшілігі бар: дұрыс жауап ақыр аяғында табылғанымен, оны іздеуге көп уақыт кетуі мүмкін. Атап айтқанда, мұндай алгоритм жақсы жаңалыққа тез жауап қайтарады да, жаман жаңалыққа – самарқау. Өзінен X маршруттауышына дейінгі арақашықтық үлкен маршруттауышты қарастырайық. Вектормен кезекті алмасу кезінде оның көршісі А оған өзінен X маршруттауышына дейін жақын екенін хабарлайды. Біздің маршруттауышымыз, X маршруттауышына жөнелту үшін, осы көрші арқылы өтетін торапқа қосылады. Сөйтіп, жақсы жаңалық бір ақпарат алмасу аралығында таралды.

Жақсы жаңалықтың қалай тез таралатынын көру үшін, *5.8-суретте* бейнеленген бес түйіннен тұратын сызықтық желіні қарастырайық. Желіде арақашықтықты өлшеу бірлігі ретінде транзиттік аймақтар саны пайдаланылады. Бастапқыда А маршруттауышы сөніп тұр делік, балық қалған маршруттауыштар бұл жайлы біледі, сондықтан олар А-ға дейінгі арақашықтық шексіздікке тең деп санайды.



5.8-сурет. Шексіздікке дейін санау мәселесі

Желіде А пайда болған кезде, басқа маршруттауыштар бұл жайлы алмасу векторы арқылы біледі. Қарапайымдылық үшін, желіде әлдеқайда да бір үлкен гонг бар, барлығын бір мезгілде векторлармен алмасуға ынталандыру үшін осы гонгқа соғады, деп есептейік. Екінші алмасудан кейін В, өзінің сол жақ көршісінің А-мен байланысқанда кідіріс уақыты нөлге тең екенін біледі. Ал В өзінің маршруттар кестесінде, А сол жақта бір транзиттік арақашықтықта орналасқан деп белгілейді. Басқа маршруттауыштар бұл сәтте А өшіп тұр деп есептейді. Осы уақыт сәтіндегі А үшін кідіріс уақыты *5.8 а-суретінің* екінші жолында көрсетілген. Келесі ақпарат алмасу кезінде С, В-ның А-ға баратын, ұзындығы 1-ге тең жолы бар екенін біледі.

Сондықтан ол өз кестесін А-ға дейінгі жолды 2-тең деп өдзгертеді, бірақ D және E ол жайлы әлі білмейді. Сонымен, жақсы жаңалық бір транзиттік аймақ жылдамдықпен, вектормен бір алмасу кезінде таралады. Егер желідегі ең ұзын жол N транзиттік аймақтан тұратын болса, онда N алмасудан кейін ішкі желінің барлық маршруттауыштары, барлық іске қосылған маршруттауыштар және тораптар жайлы білетін болады.

Енді 5.8 *ә-суретіндегі* жағдайды қарастырайық. Мұндай барлық маршруттауыштар және байланыстар о бастан іске қосылған. B , C , D және E маршруттауыштары А-дан сәйкесінше 1, 2, 3 және 4 транзиттік аймақ арақашықтығында орналасқан. Кенеттен А өшті немесе A және B арасындағы торап үзілді (B үшін мұның айырмашылығы жоқ) делік.

Дестелермен бірінші алмасу кезінде B А-ның жауабын естімейді. Қуанышқа орай, C : «Қам жеме, менде А-ға дейін, ұзындығы 2 тең жол бар», – дейді. B маршруттауышы C -дан А-ға дейінгі жол B арқылы өтетінін білмейді. B тек C -да А-ға тәуелсіз 10 шығыс байланыстарының бар екенін біледі, ең қысқасының ұзындығы 2. Сондықтан B енді А-мен C арқылы 3 ұзындықпен байланыса алады екенмін деп ойлайды. Бірінші алмасу кезінде D және E маршруттауыштары А жайлы өз ақпараттарын жаңартпайды.

Векторлармен екінші алмасу кезінде, C барлық көршілерінде А-ға дейін, ұзындығы 3-ке тең жол бар екенін біледі. Ол олардың біреуін кездейсоқ таңдап, өзінің А-ға дейінгі арақашықтығын, 5.8 *ә-суретінің* үшінші жолында көрсетілгендей, 4-ке тең деп орнатады. Ары қарайға вектормен алмасудың нәтижесі де осы суретте берілген.

Енді неліктен жаман жаңалықтың ақырын таралатындығы белгілі – ешбір маршруттауыш арақашықтық мәнін, өз көршілерінде сақталған ең кіші мәнді тек бірге үлкейтіп қана қоя алады. Сонымен, барлық маршруттауыштар, арақашықтық мәнін, өшкен маршруттауышқа жеткенше, шексіз өсіре береді. Бұл үрдісті аяқтауға қажет векторлар алмасу санын шектеу үшін осы «шексіздік» мәнін ең ұзын жол мәніне бірді қосып қою керек. Бұл мәселенің **шексіздікке дейін санау (count-to-infinity)** деп аталуы ғажап емес. Бұл мәселені шешу үшін көптеген таспыныстар жасалды, мысалы, маршруттауыштарға, өзі ақпарат алған көршілеріне RFC 1058-ге енгізілген, «улаушы» жауабы бар, көкжиекті жікке бөлу ережесі бойынша, ең қысқа жолы жайлы көршілеріне хабарлауға тиым салуға болады. Алайда, барлық аттары әдемі эвристикалық ержелер, іс жүзінде пайдасыз болып шықты. Мәселенің мәні мынада, X Y -ке өзінде қандай да бір жол бар екенін хабарлаған кезде, Y -тің бұл жолға өзінің кіретін-кірмейтінін анықтауға ешқандай мүмкіндігі жоқ.

5.2.5. Торап қалып-күйін есепке ала отырып маршруттау

Арақашықтық векторы негізіндегі маршруттау ARPANET желісінде 1979 жылға дейін, оны торап қалып-күйін есепке ала отырып маршруттаумен алмастырғанша қолданылды. Алдыңғы алгоритмнен бас тартудың бірінші себебі, желі топология-

сы өзгерген кезде, алгоритм тұрақты жағдайға жету үшін (шексіздікке дейін санау салдарынан), ұзақ уақыт қажет болды. Нәтижесінде ол мүлдем жаңа алгоритммен алмастырылды. Қазір бұл алогоритм **торап қалып-күйін есепке ала отырып маршруттау (link state routing)** деп аталады. Қазір ірі желілерде және Интернет желісінде оның нұсқалары – IS-IS және OSPF маршруттау алгоритмдерін пайдаланады.

Алгоритм негізінде қарапайым идея жатыр. Оны маршруттаушыға қойылатын бес талап арқылы сипаттауға болады. Әр маршруттаушы:

- 1) өз көршілерін анықтап, олардың желілік адресстерін білуі;
- 2) әр көршісімен арақашықтық метрикасын немесе байланыс құнын беріп отыруы;
- 3) барлық жинақталған ақпараттан тұратын десте құрастыруы;
- 4) бұл дестені барлық маршруттаушытарға жөнелтуге және басқа маршруттаушытардан келген дестені қабылдауы;
- 5) барлық маршруттаушытарға дейінгі ең қысқа жолды есептеуі тиіс.

Нәтижесінде әр маршрутизаторға толық топология жөнелтіледі. Бұдан кейін, қалған барлық маршруттаушытарға дейінгі ең қысқа жолды анықтау үшін, маршруттаушы Дейкстр алгоритмін қолдана алады. Төменде біз осы бес сатыны жеке-жеке қарастырамыз.

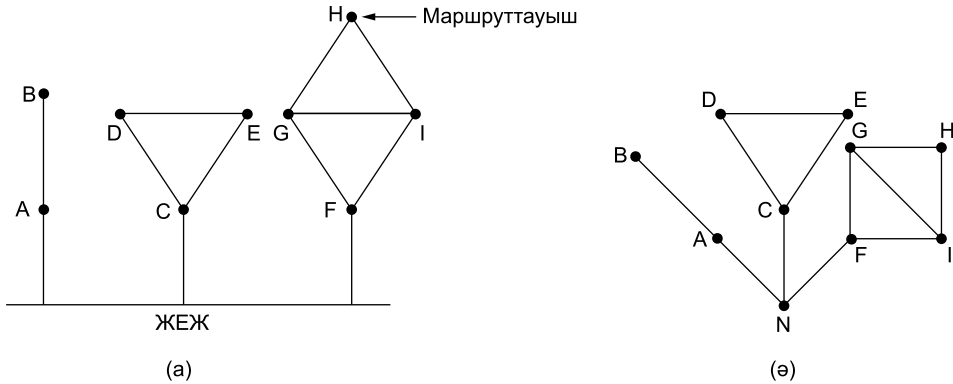
Көршілермен танысу

Маршруттаушы жүктелген кезде, оның бірінші мақсаты өзінің көршілер жайлы мәлімет алу. Мақсатқа жету үшін ол барлық «нүкте-нүкте» тораптарына арнайы HELLO дестесін жөнелтеді. Тораптың басқа басындағы маршруттаушытар өзінің аты көрсетілген жауап қайтаруы тиіс. Маршруттаушы аттары бірегей болуы тиіс, себебі егер қашықтықтағы маршруттаушы үш маршруттаушы F маршруттаушының көршісі екенін естісе, онда әңгіме бір F маршруттаушы жайлы екені түсінікті болуы тиіс.

Бір немесе одан да көп маршруттаушытар кеңтаратылымды байланыс (мысалы, сақина немесе классикалық Ethernet желісінің коммутаторы) арқылы байланысқан болса, жағдай біршама күрделенеді. 5.9 *a-суретінде*, A , B және F маршруттаушытары тікелей жалғанған, кеңтаратылымды ЖЕЖ-сі бейнеленген. Суретте көрсетілгендей, олардың әрқайсысы бір немесе бірнеше қосымша маршруттаушытармен жалғанған.

Кеңтаратылымды ЖЕЖ жалғанған маршруттаушытар парының барысында байланысты қамтамасыз етеді. Алайда, мұндай желіні «нүкте-нүкте» байланыс жүйесі түрінде модельдеу, топология мөлшерін әлдеқайда ұлғайтады және мәліметтерді тиімсіз тасымалдауға әкеледі. Жергілікті желіні ыңғайлы түрде модельдеу тәсілі, ЖЕЖ-ін маршруттаушы тәрізді, граф түйіні ретінде қарастыру. Бұл 5.9 *a-суретінде* көрсетілген. Суретте желі, A , C және F маршруттаушытары байланысқан, жасанды N түйіні ретінде бейнеленген. N рөлін атқару үшін, маршруттау хаттамасында желінің **таңбалы маршруттаушы (designated router)**

деп аталатын бір маршруттаушы таңдалады. Жергілікті желі арқылы А-дан С-ға дейін дестелерді тасымалдау мүмкіндігі АМС жолы арқылы бейнеленеді.



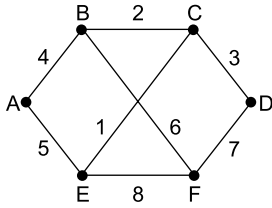
5.9-сурет. Кеңтаратылымды ЖЕЖ: а – тоғыз маршруттауыш және кеңтаратылымды жергілікті желі; б – сол жүйенің графтық моделі

Байланыс бағасы тапсырмасы

Торап қалып-күйін есепке ала отырып маршруттау алгоритмі әр байланыстың ең қысқа жолды есептеуге қажет арақашықтық немесе баға метрикасы болғанын талап етеді. Көрші маршруттауыштарға дейінгі жол бағасы автоматты түрде берілуі немесе желі операторымен анықталуы мүмкін. Көбіне баға байланыстың өткізгіштік қабілеттілігіне кері пропорционал. Мәселен, жылдамдығы 1 Гбит/с Ethernet желісінің бағасы 1, ал жылдамдығы 100 Мбит/с Ethernet бағасы – 10. Осы қасиетке байланысты ең жақсы жол ретінде өткізгіштік қабілеті жоғары жол таңдалады. Егер желі түйіндері арасындағы арақашықтық үлкен болса, бағаны есптеу кезінде байланыс кідірісі есепке алынады. Бұл жағдайда ең жақсы жол ретінде ең қысқа жол таңдалады. Бұл кідірісті анықтаудың ең тура әдісі торап бойымен арнайы ЕСНО дестесін жіберу. Басқалары бұл дестеге міндетті түрде лезде жауап беруі тиіс. Осы дестенің екі айналым уақытын есептеп, оны екіге бөліп, жөнелтуші кідірістің тиімді бағасын алады.

Торап қалып-күйі дестесін құрастыру

Алмасуға қажет ақпарат жинақталғаннан кейін, әр маршруттауыш орындайтын келесі қадам – осы деректерден тұратын дестені құрастыру. Десте жөнелтуші идентификаторынан басталады, одан кейін реттік нөмір және жасы (төменде сипатталады), сонымен бірге көршілер тізімі орналасады. Әр көрші үшін, сәйкесінше онымен байланыс жолының бағасы көрсетіледі. Желі мысалы 5.10 а-суретте келтірілген, мұнда әр торап бағасы берілген. Торап қалып-күйінің сәйкес дестелері, барлық алты маршруттауыш үшін, 5.10 б-суретінде берілген.



(a)

Торап қалып-күйі дестелері

A		B		C		D		E		F	
Нөмірі		Нөмірі		Нөмірі		Нөмірі		Нөмірі		Нөмірі	
Жасы		Жасы		Жасы		Жасы		Жасы		Жасы	
B	4	A	4	B	2	C	3	A	5	B	6
E	5	C	2	D	3	F	7	C	1	D	7
		F	6	E	1			F	8	E	8

(ә)

5.10-сурет. Желі (a); осы желідегі торап қалып-күйі дестесі (ә)

Торап қалып-күй дестелерінің құралуы күрделі емес. Ең қиыны – оны құрастыруға таңдалатын уақыт сәті. Оны, кезеңмен, тең уақыт аралығында құрастыруға болады. Келесі нұсқа, дестені қандай да бір елеулі оқиға болғаннан кейін құрастыру – мысалы, торап немесе көрші істен шыққанда немесе керісінше, тағы да желі пайда болды не ол өзінің қасиеттерін айтарлықтай өзгертті.

Торап қалып-күйі дестесін тарату

Алгоритмнің ең күрделі жері – торап қалып-күйі дестесін тарату. Барлық маршруттауыштар мұндай дестені тез және тоқтамай қабылдаулары тиіс. Егер түрлі маршруттауыштар, топологияның түрлі версиясын пайдаланатын болса, ол маршруттардағы ілмек, қолжетімсіз машина және тағы да басқа мәселелері бар қайшылыққа әкелуі мүмкін.

Біз алдымен негізгі алгоритмді сипаттаймыз. Содан кейін кейбір жақсартулар жайлы айтамыз. Барлық маршруттауыштарға торап қалып-күйі жайлы дестені тарату алгоритмінің негізгі идеясы құю алгоритмін пайдалану. Бұл үрдісті бақылауда ұстау үшін, әр дестеге әрбір келесі дестемен бірге өсіп отыратын реттік нөмір енгізіледі. Маршруттауыштар, оларға кездескен барлық парларды (ақпарат көз, реттік нөмір) жазып отырады. Торап қалып-күйінің жаңа дестесі келген кезде маршруттауыш оны жөнелтушіні және дестенің реттік нөмірін өз тізімінен іздейді. Егер бұл жаңа десте болса, ол оны ары қарай келген торабынан басқа, барлық тораптарға жөнелтеді. Егер бұл көшірме болса, онда ол жойылады. Егер келген дестенің реттік нөмірі осы жөнелтушіден бұдан бұрын алынған десте нөмірінен кіші болса, онда мұндай десте де ескірген ретінде жойылады, себебі маршруттауышта әлдеқайда жаңа деректер бар.

Бұл алгоритммен байланысты бірнеше мәселе бар, бірақ оларды шешуге болады. Біріншіден, егер тізбектік нөмір санның ең үлкен мүмкін мәніне жетсе нөлге айналып, жаңылыс болады. Шешім – 32 биттік реттік нөмірді пайдалану. Тіпті әр секунд сайын бір дестеден жіберсек те, 4-байттық бүтін сан реттік нөмір аса толу үшін 137 жыл қажет болады.

Екіншіден, егер маршруттауыш істен шықса, оның реттік нөмірі жоғалады.

Егер қайтадан нөлдiк нөмiрмен жүктелсе, оны келесi жiберген дестесi ескiрген ретiнде есепке алынбайды.

Үшiншiден, реттiк нөмiр бұзылуы мүмкiн – мысалы, 4-шi нөмiр 65 540 саны ретiнде қабылданады (бiр биттегi қателiк), бұл жағдайда 5-тен 65 540 дейiнгi дестелер кейбiр маршруттауыштармен ескiрген ретiнде есепке алынбайды.

Бұл мәселелердiң шешiмi – дестеге реттiк нөмiрден кейiн, оның жасын көрсетiп, оны әр секунд сайын бiрге кемiту. Десте жасы нөлге дейiн кемiген кезде, бұл маршруттауыштан келген ақпарат жойылады. Қалыпты жағдайда жаңа десте, мысалы әр 10 секунд сайын келедi, сөйтiп маршруттауыш жайлы мәлiмет тек маршруттауыш өшкен (немесе алты дестенi қатарынан жоғалтқан кезде, ықтималдығы аз) кезде ескiредi. Жас өрiсi, сонымен бiрге, бiрде бiр дестенiң жоғалмайтынына және мәңгi өмiр сүмейтiнiне кепiлдiк беру үшiн, құю үрдiсiнiң бастапқы уақытында, әр маршруттауыш сайын бiрге кемiп отырады.

Алгоритмнiң сенiмдiлiгiн жоғарылату үшiн, кейбiр жақсартулар пайдаланылады. Торап қалып-күйi дестесi маршруттауышқа құю үшiн келген кезде, ол бiрден жөнелтiлуге кезекке тұрмайды. Оның орнына ол бiрнеше уақыт кезең аралығында, жаңа байланыстың пайда болу немесе ескi байланыстың үзiлу жағдайы үшiн, аралық сақтау аймағында сақталады. Егер осы уақыт аралығында осы жөнелтушiден тағы бiр десте келсе, маршруттауыш олардың реттiк нөмiрiн салыстырады. Реттiк нөмiрi ескi десте жойылады. Егер нөмiрлерi бiрдей болса, онда көшiрмесi жойылады. Байланыс торапындағы қателiктерден қорғану үшiн, торап қалып-күйi дестелерi алынғаннан кейiн расталады. *5.10 а-суретiнде* бейнеленген желiмен жұмыс жасауға қажет В маршруттауышының пайдаланатын деректер құрылымы *5.11-суретiнде* көрсетiлген. Мұнда әр жол, жақын арада алынған, бiрақ әлi өңделмеген торап қалып-күйi дестесiне сәйкес келедi. Кестеде жөнелтушi адресi, реттiк нөмiрi, жасы және деректер жазылады. Бұдан басқа, кестеде В маршруттауыштың әр үш торабы үшiн (А-ға, С және F-ке, сәйкесiнше) тарату және растау жалаушалары бар. Жөнелту жалаушалары осы торап бойынша алынған дестеге растау жiберу керек екендiгiн бiлдiредi.

Ақпарат көзi	Нөмiрi	Жасы	Жөнелту жалаушасы			Растау жалаушасы			Деректер
			A	C	F	A	C	F	
A	21	60	0	1	1	1	0	0	
F	21	60	1	1	0	0	0	1	
E	21	59	0	1	0	1	0	1	
C	20	60	1	0	1	0	1	0	
D	21	59	1	0	0	0	1	1	

5.11-сурет. 5.10-суреттегi В маршруттауышының дестелер буферi

5.11-суретті көрсетілгендей, A маршруттауышынан алынған қалып-күй дестесі тікелей келді, сондықтан биттік жалаушалар көрсетіп тұрғандай, ол C және F маршруттауыштарына жіберілуі керек, ал оның алынғаны жайлы растауды A маршруттауышына жөнелту керек. Дәл осылай, F маршруттауышынан келген дестені A мен C -ға, ал F -ке растауды жөнелту керек.

Алайда, E маршруттауышынан алынған үшінші дестемен жағдай басқаша. Ол екі рет келеді, EAB және EFB тораптары бойынша. Демек, оны тек C -ға жөнелту керек, бірақ растауды, биттер көрсетіп тұрғандай A және F -ке жіберу керек. Егер, түпнұсқа буферде тұрған уақыт аралығында, дестенің көшірмесі келсе, биттер мәні өзгеру керек. Мысалы, C маршруттауышының қалып-күйінің көшірмесі, кестенің төртінші жолы жөнелтілгенше, F -тен келетін болса, алты жалаушалық биттер 100011 мәнін қабылдайды және бұл дестенің F -тен алынғандығын растау, бірақ оны F -ке жібермеу керек дегенді білдіреді.

Жаңа маршруттарды есептеу

Торап қалып-күйі дестелерінің толық жиынтығын жинап, маршруттауыш желінің толық графын құрастыра алады, себебі онда барлық тораптар жайлы деректер бар. Іс жүзінде әр торап, әр бағыт үшін бір мәннен, екі рет ұсынылған. Әр бағыттың бағасы әр түрлі болуы мүмкін. Сондықтан, A -дан B -ға дейін және B -дан A -ға дейінгі ең қысқа жолды есептеу нәтижесі сәйкес келмеуі мүмкін.

Енді ең қысқа жолдарды табу үшін барлық мүмкін деген адресаттарға жергілікті түрде Дейкстра алгоритмі пайдаланылуы мүмкін. Есептеу нәтижесі тағайындалған адреске жету үшін қандай байланысты таңдау керек екенін маршруттауышқа хабарланады. Бұл ақпарат маршруттау кестесіне енгізіліп, маршруттауыштың әдеттегі жұмысы қалпына келтіріледі.

Арақашықтық векторы бойынша маршруттаудан, торап қалып-күйін ескере отырып маршруттау көптеген есептеулер мен жадыны талап етеді. Әрқайсысының k көршісі бар, N маршруттауыштан тұратын желіде шығыс ақпаратты сақтауға қажет жады kn -ге пропорционал. Бұл, кем дегенде, тағайындалған адресстер жазылған маршруттау кестесіне сәйкес келеді. Бұдан басқа, тіпті тиімді деректер құрылымын пайдаланғанның өзінде, ақпаратты өңдеуге қажет уақыт kn -нен әлдеқайда жылдам өседі. Үлкен желілерде бұл мәселе болуы мүмкін. Сонда да, іс жүзінде торап қалып-күйін есепке алып маршруттау жақсы жұмыс жасайды, себебі онда баяу конвергенция мәселесі жоқ.

Торап қалып-күйін есепке алып маршруттау қазіргі желілерде кеңінен қолданылады, сондықтан бірнеше хаттамалар мысалдарын айта кеткен дұрыс. Көптеген интернет-провайдерлер, **IS-IS (Intermediate System to Intermediate System – аралық жүйелер арасындағы байланыс)** торап қалып-күйін есепке алып маршруттау хаттамасын пайдаланады (Oran, 1990). Ол ертеректе DECnet жүйесі үшін құрастырылған және кейінен OSI Халықаралық стандарттау ұйымымен OSI хаттамасымен бірге пайдалану үшін қабылданған. Бұдан кейін ол басқа да хаттамаларды қолдау үшін, атап айтқанда, IP қолдау үшін өзгертілді. Торап

қалып-күйін есепке ала отырып маршруттау хаттамалары ішіндегі танымалының бірі – **OSPF (Open Shortest Path Frist – ең қысқа жолды таңдаудың қолайлы ашық алгоритмі)**. Ол Интернет-құрастырушылардың арнайы комиссиясымен (IETF), IS-IS-тан бірнеше жылдан кейін құрастырылған және онда IS-IS құрастыру барысындағы көптеген жаңалықтар енгізілген. Бұл жаңалықтарға, торап қалып-күйі жайлы ақпарат ағынының легін өздігінен реттеу тәсілі, жергілікті желідегі таңбалы маршруттаушы концепциясы, сонымен бірге, жолды бөлшектеу және мертикаларды көбейтуді қолдау және есептеу тәсілдері жатады. Сәйкесінше, IS-IS және OSPF хаттамалары арасында ешқандай айырмашылық жоқ. Олардың арасындағы елеулі айырмашылық – IS-IS-те желілік деңгейдің бірнеше хаттамасын бірізгілік қолдау мүмкіндігі бар (мысалы, IP, IPX және AppleTalk). OSPF-де мұндай қасиет жоқ және бұл үлкен көп хаттамалы ортада артықшылық болып шықты. OSPF хаттамасы жайлы толығырақ *5.6.6-бөлімінде* айтамыз.

Маршруттау алгоритмдері жайлы жалпы бірнеше сөз айтқан дұрыс деп санаймыз. Торап қалып-күйін есепке ала отырып маршруттау, арақашықтық векторы арқылы маршруттау және басқа да алгоритмдер маршруттаушылар маршрутты есептеумен айналысады деп санайды. Алайда, құрылғының немесе программалық жабдықтаманың дұрыс жұмыс жасамауы желіде үлкен проблемаға әкелуі мүмкін. Мысалы, егер маршруттаушы іс жүзінде жоқ торап жайлы мәлімдесе немесе керісінше бар торап жайлы ұмытып кетсе, желі графы дұрыс болмай шығады. Егер маршруттаушы дестені жөнелте алмаса немесе жөнелту кезінде нұқсан келтіріп алса, мұнда да проблема туындайды. Соңында егер маршруттаушыта бос жады жоқ болып қалса немесе маршрут есебінде қателік кетсе, мұнда да келеңсіздіктер туындауы мүмкін. Желі мөлшері ондаған немесе жүздеген маршруттаушыға өскен кезде, біреуінің істен шығу ықтималдығы, ескермеуге болатындай аз болудан қалады. Мұнда тек құрылғының істен шығуынан келетін залалды шектеуге тырысу керек. Бұл проблемалар мен оларды шешу (Perlman, 1988) басылымында егжей-тегжейлі жазылған.

5.2.6. Иерархиялық маршруттау

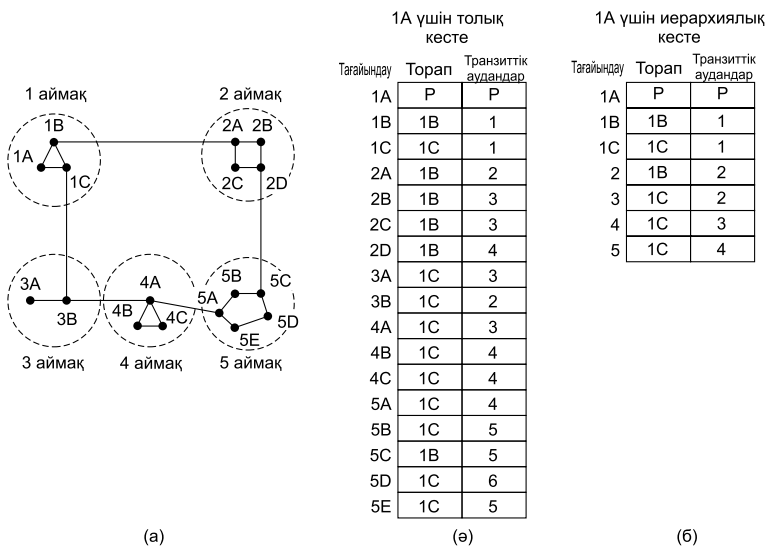
Маршруттаушылар қолдайтын маршруттар кестесінің көлемі желі көлемінің өсуіне пропорционалды өседі. Бұл жағдайда кестені сақтауға қажет үлкен жады көлемі ғана емес, ақпаратты өңдеу үшін орталық процессордың уақыты қажет. Сонымен бірге, маршруттаушылар алмасатын қызметтік дестелер көлемі де үлкейеді, бұл торап жүктемесін өсіреді. Белгілі бір мезетте желі көлемі маршруттаушыта басқа маршруттаушылар жайлы жазбаны сақтауға мүмкіндік болмайтындай ұлғайуы мүмкін. Сондықтан үлкен желілерде, телефон желісіндегідей, маршруттау иерархиялық түрде жүргізілуі тиіс.

Иерархиялық маршруттауды пайдалану кезінде маршруттаушылар жеке **аймақтарға (regions)** бөлінеді. Әр маршруттаушы өз аймақ шеңберінде маршрутты таңдау егжей-тегжейін біледі, бірақ ол басқа аймақтардың ішкі құрылымы жай-

лы білмейді. Бірнеше желілерді біріктірген кезде, оларды жеке аймақтар ретінде қарастырып, бір желі маршруттауышын басқа желінің топологиясын білуден қалай босату керек деген мәселе туындайды.

Өте үлкен желілерде екі сатылы иерархия жеткілікті болмауы мүмкін. Аймақтарды кластерлерге, кластерлерлі аумақтарға, аумақтарды топтарға біріктіру қажет болуы мүмкін және т.б., жаңа біріктірулерге ат беру қиялы біткенше. Көпсатылы иерархиялық маршруттау мысалын көру үшін Калифорния штатының, Беркли (Berkeley) университетінен, Кениядағы Малиндиге (Malindi) жөнелтілетін десте маршруттын қарастырайық. Берклидегі маршруттауыш, Калифорния шеңберіндегі топология егжей-тегжейін біледі, бірақ штаттан тым бағытталған трафикті ол Лос-Анджелестегі маршруттауышқа жөнелтеді. Лос-Анджелестегі маршруттауыш трафикке АҚШ шеңберінде тікелей маршрут табуы мүмкін, бірақ шет елге шығатын дестелер Нью-Йорк арқылы жөнелтіледі. Нью-Йорк маршруттауышы трафикті тағайындалған елдің шетелден келетін трафикті қабылдауға жауапты маршруттауышына жөнелтеді. Ол, мәселен, Найбориде орналасуы мүмкін. Соңында, Кения шеңберіндегі иерархиялық ағашпен төмен жылжи отырып, десте Малиндиға жетеді.

5.12-суретте екі сатылы, бес аймағы бар маршруттауыштың сандық мысалы келтірілген. 1А маршруттауышының толық кестесі 5.12 а-суретінде көрсетілгендей 17 жазбадан тұрады. Иерархиялық маршруттауды пайдаланған кезде 5.12 б-суретінде көрсетілгендей, кестеде бұрынғыдай барлық жергілікті маршруттауыштар жайлы мәлімет бар. Бірақ басқа аймақтар жайлы жазбалар бір маршруттауыш шеңберінде жинақталады, сондықтан екінші аймаққа баратын трафик әлі де 1В-2А торапы арқылы өтеді, ал басқа аймақтар – 1С-3В торабымен. Иерархиялық маршруттауда маршруттар кестесі 17-ден 7 жолға дейін кемиді. Аймақтар неғұрлым үлкен болса, кестедегі орын соғұрлым үнемделеді.



5.12-сурет. Иерархиялық маршруттау

Өкінішке орай, жадыны үнемдеудің бұл жолы ақысыз емес. Төленетін ақы жол ұзындығының өсуі. Мысалы, *1A*-дан *5C*-ға дейінгі ең жақсы жол екінші аймақ арқылы өтеді. Алайда, иерархиялық маршруттауды пайдаланған кезде 5-ші аймақтың барлық трафигі 3 аймақ арқылы жөнелтіледі, себебі 5 аймақтың көптеген адресаттары үшін осы ыңғайлы.

Ортақ желі үлкен бола бастаған кезде қызық сұрақ туындайды: иерархия неше сатылы болуы керек? Мысал ретінде, 720 маршруттауышы бар желіні қарастырайық. Егер иерархия жоқ болса, онда әр маршруттауыш 720 жазбасы бар кестені қолдауы керек. Егер желіні әрқайсында 30 маршруттауышы бар 24 аймаққа бөлсек, онда әр маршруттауышқа 30 жергілікті және 23 қашықтықтағы аймақтар жайлы жазба керек, барлығы 53 жазба. Әрқайсысында 10 маршруттауышы бар, тоғыз аймақтан тұратын, сегіз кластерге біріктірілген үш сатылы иерархия болған кезде, әр маршруттауышқа жергілікті маршруттауыштар үшін 10 жазба, 8 жазба, өз кластері шеңберіндегі басқа аймақтар маршруттауыштары үшін және 7 жазба қашықтықтағы кластерлер үшін барлығы 25 жазба керек. 1979 жылы Камоун (Camoun) және Кляйнрок (Kleinrock) *N* маршруттауыштан тұратын желі үшін иерархия сатылары санының ең оңтайлысы $\ln N$ -ге тең екенін айтқан. Бұл жағдайда әр маршруттауыш үшін $e \cdot \ln N$ жазба қажет. Олар сонымен бірге, иерархиялық маршруттау кезінде тиімді орташа жол ұзындығының өсуі тез және әдетте қолайлы аралықта екенін де көрсетті.

5.2.7. Кеңтаратылымды маршруттау

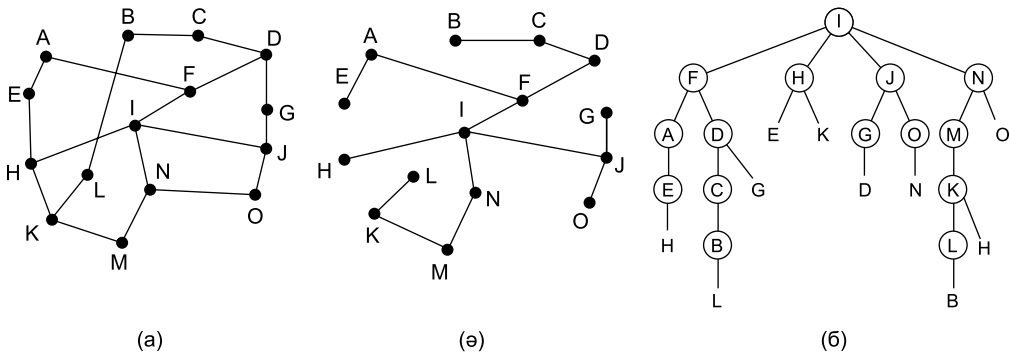
Кейбір қосымшаларды хосттарға, мәлімдемені көптеген хосттарға, кейде бәріне бірдей жөнелту қажет болады. Мысал ретінде, ауа райы болжамын, биржалық бағалы қағаздар курсы жаңарту, тікелей эфирдегі радиобағдарламаларды айтуға болады. Сәйкес деректерді, қызығушылық танытқан хосттардың барлығы алу үшін, кеңтаратылымды тәсіл бойынша жөнелткен тиімді. Сонымен, дестелерді тағайындалған пункттерге бір мезгілде жөнелту – **кеңтаратылымды (broadcasting)** деп аталады. Жүзеге асыру үшін әртүрлі әдістер қолданылады.

Кеңтаратылымды маршруттаудың бір әдісі, желіден ешқандай ерекше қабілетті қажет етпейді және тек жеке дестелерді барлық бағытта жөнелту үшін пайдаланылады. Өткізгіштік қабілеттілік тұрғысынан ол баяу және тиімсіз ғана емес, сонымен бірге десте көзінде барлық хосттардың толық тізімі болғанын талап етеді. Іс жүзінде мұндай әдіс қалаусыз, бірақ кең қолданыспен ерекшеленеді. Жетілдірілген алгоритмдердің бірі – көп **адресті маршруттау (multidestination routing)**. Мұнда, әр дестеде адресаттар тізімі немесе тағайындалған ұнамды хосттарды көрсететін биттік карта бар. Осындай десте маршруттауышқа келген кезде, ол оның тізімін тексеріп, ары қарай таратуға қажет шығыс тораптар жиынын анықтайды. (Егер, торап, тізімдегі адресаттардың біріне баратын, қандай да бір оңтайлы жолға шығатын болса, қажет болады.) Маршруттауыш қолданылатын шығыс тораптарының барлығы үшін десте көшірмесін жасайды. Оған тек қолжеткізу үшін нақты осы

торап қажет адрестер кіреді. Сонымен, бүкіл тарату тізімі шығыс тораптары арасында бөлінеді. Белгілі бір таратылу санынан кейін, әр дестеде қарапайым дестегідей, тек бір тағайындалған адрес қалады. Көп адресті маршруттау жеке адрестелген дестелерді пайдаланғанмен бірдей, тек бастапқыда бір маршрут бойынша жөнелтілген дестелердің біреуі ғана «толық бағаны төлейді» қалғандары ақысыз жүреді. Мұндай жағдайда өткізгіштік қабілеттілік тиімді пайдаланылады. Дегенмен, бұл тәсіл барлық адресаттар жайлы бастапқы мәліметі қажет етеді. Сонымен бірге, көп адресті бір дестені қайда жөнелту керек екенін түсіну үшін, маршруттаушы жеке дестелер жиынын жөнелтуге қажет операциялар санын орындайды.

Кеңтаратылымды маршруттаудың бір тәсілімен біз таныспыз: құю. Егер құю реттік нөмірлер бойынша жүзеге асырылса, онда ол байланыс арналарымен тиімді жұмыс жасайды, себебі маршруттаушы салыстырмалы түрде, қарапайым шешім қабылдау ережесін пайдаланады. Бұл тәсіл қарапайым екі нүктелі байланыс үшін нашар болғанымен, ол кеңтаратылым үшін жақсы үміткер бола алады. Алайда стандартты дестелер үшін ең қысқа жол есептеліп қойылған жағдай жақсы болады екен.

Қарсы жолмен жылжу (reverse path forwarding) идеясы қарапайым және әсем (Dadal, Metcalfe, 1978). Кеңтаратылымды десте келген кезде, маршруттаушы оның келген байланысы әдеттегі дестелерді жөнелтуге арналған кеңтарату көзін пайдаланатынын тексереді. Жауап оң болған жағдайда, дестенің ең жақсы жолмен келу ықтималдығы артады, сөйтіп ол маршруттаушыға келген бірінші көшірме болады. Онда маршруттаушы бұл дестені келген байланысынан басқа барлық байланыстар арқылы таратады. Алайда кеңтаратылымды десте басқа байланыс арқылы өзі келген ақпарат көзіне де келеді, ол жерде көшірме ретінде жойылады.



5.13-сурет. Қарсы жолмен жылжу: а – желі; ә – кіріс ағашы; б – қарсы жолмен жылжу әдісі бойынша құрастырылған ағаш

Қарсы жолмен жылжу алгоритм жұмысының мысалы 5.13-суретте көрсетілген. Сол жақта желі бейнеленген, ортада – осы желінің I маршруттаушы үшін

кіріс ағашы. Бірінші транзиттік аймақта I маршруттауышы, ағаштың екінші қабаты болып саналатын, F , H , J және N маршруттауыштарына десте жөнелтеді. Бұл дестелердің барлығы оларға, 5.13 б-суретінде символ айналасында дөңгелекпен белгіленген, I-ға дейінгі тәуір көрінетін торап (кіріс ағашымен сәйкес жол арқылы) арқылы келеді. Тасымалдаудың екінші сатысында сегіз десте құрастырылады – екінші таратудан кейін алған әр маршруттауыш екіден құрастырады. Барлық сегіз десте бұрын бұл дестені алмаған маршруттауышқа келеді, ал оның бесеуі тәуір көрінетін торап арқылы келеді. Үшінші транзиттік аймақ құрастырылатын алты дестенің тек үшеуі тәуір көрінетін торап арқылы келеді (C , E және K маршруттауыштарына). Қалғандары көшірме болып шығады. Бес транзиттік аймақтан кейін, кең таратылу, тасымалданған жалпы дестелер саны 23-пен аяқталады. Ал, кіріс ағашын пайдаланғанда төрт транзиттік аймақ және 14 десте қажет болар еді.

Қарсы жолмен жылжу тәсілінің нақты артықшылығы – қарапайым іске асырылудағы жарамды тиімділік. Құю тәсіліндегідей, кең таратылымды десте барлық байланыс арналары арқылы тек бір рет жөнелтіледі. Ал маршруттауыш, мұнда тек тағайындалған адреске қалай жету керек біреуі қажет, бірақ реттік нөмірлерді есте сақтауға (немесе құюды тоқтатудың басқа механизмін пайдалану) немесе барлық адресстер тізімін дестеде сақтауға міндетті емес.

Кеңтаратылымды маршруттаудың соңғы алгоритмі қарсы жолмен жылжу алгоритмінің алдында әлдеқайда табысты. Ол нақты түрде кіріс ағашын немесе маршруттау үшін кеңтаратуды бастаған басқа байланыстырушы ағашты пайдаланады. Байланыстырушы ағаш (*spanning tree*) – бұл, барлық маршруттауыштар кіретін, бірақ тұйық жолы жоқ, желі ішкі жиыны. Егер әр маршруттауыш өзінің қай торабы байланыстырушы ағашқа кіретінін білсе, онда ол келген дестені байланыстырушы ағаштың, десте келген торапынан басқа, барлық тораптары арқылы жөнелте алады. Мұндай тәсіл, дестелердің жұмыс жасауға қажет ең кіші санын туындата отырып, желінің өткізгіштік қабілетін тиімді түрде пайдалана алады. Осылайша, егер 5.13 б-суретінде байланыстырушы ағаш ретінде кіріс ағашын пайдалансақ (5.13 ә-суреті), кеңтарату үшін қажет дестелердің ең кіші саны 14-ті құрайды. Бұл тәсілдің жалғыз проблемасы, әр маршруттауыш байланыстырушы ағаш жайлы мәліметті білуі керек. Кейде мұндай ақпарат қолжетімсіз (мысалы, торап қалып-күйін есепке ала отырып маршруттау жағдайында, барлық маршруттауыштар желі топологиясы жайлы толық ақпаратты біледі, сондықтан байланыстырушы ағашты есептей алады), кейде – жоқ (арақашықтық векторы арқылы маршруттауда).

5.2.8. Көп адрессті тарату

Кейбір қосымшалар (көп тұтынушылы ойындар немесе көптеген қабылдаушыларға жөнелтілетін спорт оқиғаларын трансляциялау) дестені адресстер тобына жөнелтеді. Егер мұндай топ аз болса, онда жеке дестені әр адресске жөнелту тым қымбат операция болады. Екінші жағынан, егер топ, айталық, милли-

он түйіннен тұратын желінің 1000 машинасынан тұратын болса, кеңтарту тиімсіз және де кейбір көптеген қабылдаушылар бұл мәлімдемеге мүдделі емес (немесе одан да сорақысы, бұл ақпараттық өздеріне жетпегеніне мүдделі). Сонымен, мәліметтерді қатаң анықталған, саны үлкен, бірақ жалпы желімен салыстырғанда шағын топтарға тарату әдісі қажет.

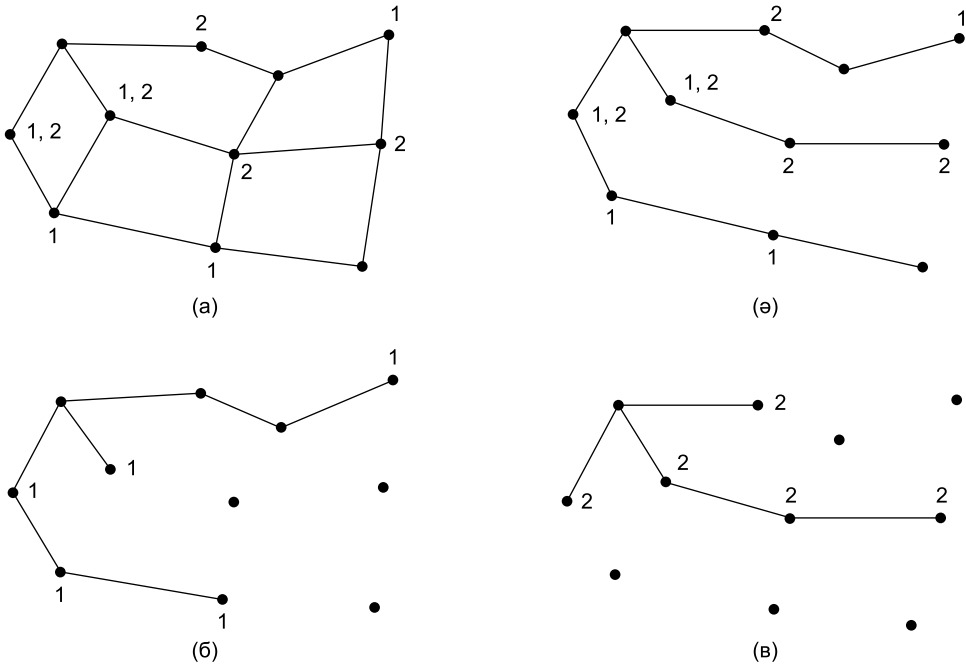
Осындай топ мүшелеріне мәлімдемелерді тасымалдау **көп адресті тарату (multicasting)**, ал пайдаланатын алгоритм – **көп адресті маршруттау (multicast routing)** деп аталады. Кез келген көп адресті тарату схемасы, топтарды құрастыру және топтан шығарып тастау, топқа мүше маршруттауыштар тізімін анықтауды болжайды. Біз әзірше әр топ тарату адресін анықтап және әр маршруттауыш өзінің қандай топқа кіретінін біледі деп есептейміз. Топқа кіру мәселесіне, біз *5.6-бөлімде* Интернеттің желілік деңгейін қарастырғанда ораламыз. Көп адресті тарату схемасы, біз жоғарыда қарастырған, көптаратылымды маршруттау принципіне негізделген: дестелер топ мүшелеріне тағайындалған, байланыстырушы ағаш арқылы таратылады және өткізгіштік қабілеттілікті тиімді пайдалану мәселесі қойылады. Алайда, ең жақсы байланыстырушы ағашты таңдау топтың тығыз (қабылдаушылар желінің үлкен бөлігін қамтиды) немесе сирек (желінің көп бөлігі топқа кірмейді) екендігіне байланысты. Бұл бөлімде біз екі жағдайды да қарастырамыз.

Егер топ тығыз болса, онда кеңтартатылуды пайдалану жаман ой емес, себебі, нәтижесінде десте желінің барлық бөлігіне табыспен жөнелтіледі. Алайда, бұл алгоритмнің кемшілігі, дестені топқа кірмейтін маршруттауыштар да алады. Диринг және Черитон (Deerring, Cheriton, 1990) ұсынған шешім, байланыстырушы ағаштан топ мүшелеріне апармайтын бұтақты алып тастау нәтижесінде тиімді байланыстырушы ағаш алынады.

Мысал ретінде, *5.14 а-суретінде* бейнеленген желінің екі тобын қарастырайық, 1 және 2-суретте көрсетілгендей, кейбір маршруттауыштар бір немесе екі топқа да жататын хостпен байланысқан. Сол жақ шеткі маршруттауыш үшін байланыс ағашы *5.14 ә-суретінде* көрсетілген. Мұндай ағашты кеңтарту үшін пайдалануға болады, бірақ (ары қарай, ағаштың екі қысқартылған нұсқасында көрсетілгендей) көп адресті тарату үшін он молшылықты болып саналады. *5.14 б-суретінде* 1-ші топ мүшесі болып саналатын хостарға баратын байланыстар жойылған. Нәтижесінде, сол жақ шеткі маршруттауыш 1-ші топқа десте жөнелтетін, көп адресті байланыстырушы ағаш алынады. Дестелер бірыңғай осындай ағаш арқылы таратыларды – бұл тәсіл кең таратуға қарағанда әлдеқайда үнемді болып шықты: жаңа ағаш 10 байланыс орнына 7 байланысты пайдаланады. *5.14 в-суретінде*, 2-ші топқа арналған көп адресті қысқартылған ағаш көрсетілген. Ол 5 байланысты пайдаланады, сонымен тиімділікті дәлелдейді. Әртүрлі топтар үшін, түрлі байланыстырушы ағаш пайдаланатынына назар аудару керек.

Байланыстырушы ағашты қысқартудың бірнеше тәсілі бар. Қарапайым тәсіл, әр маршруттауышқа желінің толық топологиясы және топ құрамы да белгілі болатын, торап қалып-күйін есепке ала отырып маршруттау кезінде пайдалануы мүмкін. Мұндай жағдайда әр маршруттауыш, әр жөнелтуші үшін өзінің қысқартылған

байланыстырушы ағаштан тұрғыза алады. Алдымен, бастапқы кіріс ағашы тұрғызылады, кейіннен одан кіріс (түпкі) түйінін топ мүшелерімен байланыстырмайтын барлық байланыстар алынып тасталады. Осы принцип бойынша жұмыс жасайтын, торап қалып-күйін есепке ала отырып маршруттаудың хаттамасының бірі – **MOSPF (Multicast OSPPF – көп адрессті OSPF)** (Moy, 1994).



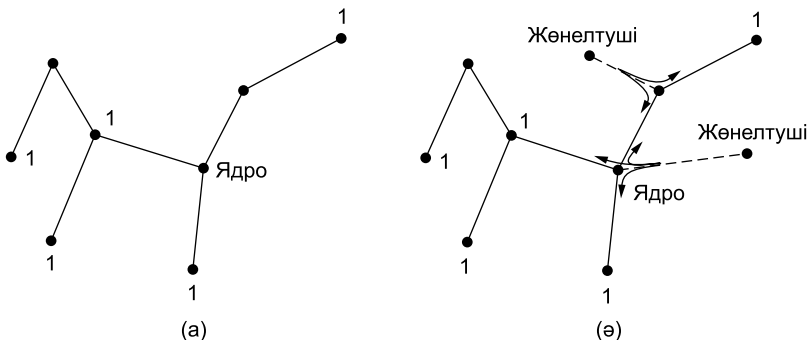
5.14-сурет. Көп адрессті тарату: а – желі; ә – солжақ шеткі маршруттауыш үшін байланыстырушы ағаш; б – 1-ші топ үшін көп адрессті ағаш; в – 2-ші топ үшін көп адрессті ағаш

Арақашықтық векторы арқылы маршруттау кезінде қысқартылған ағаштың басқа стратегиясы пайдаланылуы мүмкін. Мұнда көп адрессті тарату үшін қарсы жолмен жылжу алгоритмі қолданылады. Көп адрессті мәлімдемені топқа кіретін хосты жоқ маршруттауыш та және осы топ үшін мәлімдемені қабылдайтын басқа маршруттауыштармен байланыс торабы да алады. Ол өзіне мәлімдеме жөнелткен көршісіне PRUNE (кесу) деген жауап қайтарып, өзіне бұл топқа арналған мәлімдемені жіберудің қажеті жоқ екенін хабарлайды. Мұндай жауапты топқа кіретін хосты жоқ маршруттауышта қайтаруы мүмкін, егер ол көп адрессті тарату жөнелткен барлық торап арқылы PRUNE жауабын алса. Нәтижесінде байланыстырушы ағаш, бара-бара рекурсивті қысқартылады. Осы принцип бойынша жұмыс жасайтын, көп адрессті маршруттау хаттамасының мысалы – **DVRMP (Distance Vector Multicast Routing Protocol – арақашықтық векторы бойынша маршруттаудың көп адрессті хаттамасы)** (Waitzman және басқалар, 1988).

Қысқарту, тек топ мүшелерімен байланысуға қажет, тиімді байланыстырушы

ағаш тұрғызуға көмектеседі. Бұл тәсілдің кемшілігі, маршруттауыштың көп операция орындауды талап етеді, әсіресе үлкен желілерде. Айталық, желіде әрқайсысы, кем дегенде, m мүшеден тұратын n топ бар. Әр маршруттауышта әр топ үшін m қысқартылған ағаш сақталуы керек, демек, mn бүкіл желі үшін. Мысалы, 5.14 б-суретінде, сол жақ шеткі маршруттауыш 1-ші топқа десте жөнелтетін байланыстырушы ағаш бейнеленген. Енді сол жақ шеткі маршруттауыш 1-ші топқа десте жөнелтетін байланыстырушы ағаш (ол суретте көрсетілмеген) басқаша болады, себебі десте топ мүшелеріне, графтың сол жақ бөлігіндегі түйін арқылы емес, тікелей жөнелтіледі. Бұл маршруттауыштар 1-ші топ мүшелеріне жөнелтетін бағытты таңдау қай түйіннің жөнелтуші екеніне байланысты дегенді білдіреді. Топтар саны және жөнелтушілер саны көп болғанда, барлық ағаштарды сақтау үшін үлкен жады қажет.

Топ үшін жеке байланыстырушы ағаш тұрғызудың балама тәсілі **тамыры ядро** орналасқан ағашты (**core-based trees**) пайдалану (Ballardie және басқалар, 1993). Осы тәсілге сәйкес, барлық маршруттауыштар ортақ тамырды таңдайды (сонымен бірге **ядро** – **core** немесе **кездесу нүктесі** – **rendezvous point** деп аталады), ал ағашты тұрғызу үшін топ мүшелерінің барлығы осы тамырға арнайы десте жөнелтеді. Соңғы ағаш, осы дестелер жүріп өткен жолдан құрастырылады. 5.15 а-суретінде, 1-ші топ үшін тұрғызылған, осындай, негізі ядро орналасқан ағаш көрсетілген. Осы топқа дестені жөнелту үшін жөнелтуші ядроға мәлімдеме жөнелтеді, ол сол жерден ағаш бойымен таратылады. Желінің оң жақ шетінде орналасқан жөнелтуші үшін осындай алгоритмнің жұмысы 5.15 ә-суретінде бейнеленген. Алайда, бұл тәсілдің өнімділігін жақсартуға болады: көп адресті таратуда топқа тағайындалған дестенің ядроға келуі міндетті емес. Десте ағашқа жеткен кезде, ол тамыр бағытында және тағы басқа бағыттарда жөнелтілуі мүмкін. Алгоритм, 5.15 ә-суретінің жоғары жағында орналасқан жөнелтуші үшін, осылай жұмыс жасайды.



5.15-сурет. 1-топ үшін негізі ядро орналасқан ағаш (а); 1-топ үшін тарату (ә)

Ортақ ағашты пайдалану барлық ақпарат көздері үшін тиімді болып саналмайды. 5.15 ә-суретіндегі мысалда, желінің оң жағында орналасқан

жөнелтушіден шыққан десте топтың бірінші жоғарғы мүшесіне тікелей емес, ядро арқылы жөнелтіледі, бұл үш өтуді қажет етеді. Тиімсіздік дәрежесі ядро мен жөнелтушілердің өзара орналасуына байланысты. Ядроны жөнелтушілер ортасына орналастырған ыңғайлы. Егер жөнелтуші біреу-ақ болса (мысалы, видеожазбаны топ мүшелеріне трансляциялауда), ядро ретінде жөнелтушінің өзін пайдаланған тиімді.

Сонымен бірге, ортақ ағашты пайдалану, ақпараттық сақтауға шығатын шығынды және жөнелтілген мәлімдемелер санын, есептеулер көлемін әлдеқайда төмендететінін айта кету керек. Әр топ үшін маршруттауыш m ағаш емес, біреуін ғана сақтауы керек. Бұдан басқа маршруттауыш ағаш бөлігі болып саналмайды, сондықтан топтарға мәлімдеме таратуға қатыспайды. Сондықтан, ортақ ағаш негізіндегі алгоритм (жеке алғанда, негізі ядроға орналасқан ағаш) Интернет желісінде сирек орналасқан топтар үшін кең тарату кезінде пайдаланылады. Ол **PIM (Protocol Independent Multicast – хаттамаға тәуелсіз көп адресті тарату)** тәрізді танымал хаттамалардың бөлігі болып саналады (Fenner және басқалар, 2006).

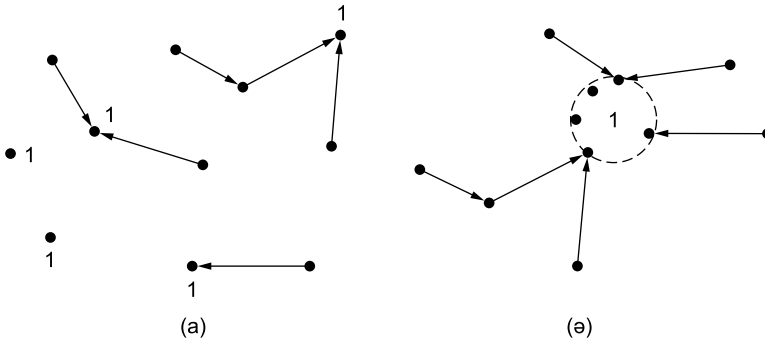
5.2.9. Еркін маршруттау

Біз осы уақытқа дейін, ақпарат көзі бір адреске (**бір адрестік тарату – unicast**), барлық адреске (кеңтарату) немесе адресстер тобына (көп адресті тарату) мәлімдеме жөнелтетін модельдерді қарастырдық. Кейде таратудың, еркін тарату (**anycast**) деп аталатын, тағы бір моделі қолданылады. Мұндай тарату кезінде деситу топтың жақын арада орналасқан мүшесіне жөнелтіледі (Partridge және басқалар, 1993). Сәйкес жолды анықтау тәсілі еркін маршруттау (anycast routing) деп аталады.

Нәтижесінде бізге еркін тарату қажет болуы мүмкін? Кейде түйіндер қызмет көрсетеді (мысалы, тәулік уақытын хабарлайды немесе контентті жөнелтеді), ол үшін: ақпараттың дұрыс болуының мәні зор және де оны қандай түйіннің жіберетіні маңызды емес – бұл тапсырманы кез келген түйін атқара алады. Интернет желісінде еркін таратуды пайдаланудың мысалы, DNS, бұл жайлы біз *7-тарауда* айтамыз.

Қуанышқа орай, еркін маршруттау үшін бізге жаңа алгоритм ойлап табудың қажеті жоқ, стандартты тәсілдер – арақашықтық векторы арқылы маршруттау және торап қалып-күйін есепке ала отырып маршруттау – еркін тарату үшін маршрут құрастыруға мүмкіндік береді. Айталық бізге 1-топ мүшелеріне деректер жөнелту қажет. Әр түрлі адрес орнына, 1-топ мүшелері бірдей адрес алады – «1». Арақашықтықты есепке ала отырып, маршруттау алгоритмі, векторды әдеттегі тәсіл бойынша таратады және түйіндер 1-ші адреске дейінгі ең қысқа жолды тандап алады. Нәтижесінде, түйіндер деректерді жақын арадағы адресі 1 құрылғыға жөнелтеді. Сәйкес маршруттар *5.16 а-суретінде* көрсетілген. Бұл тәсіл табыспен жұмыс жасайды, себебі маршруттау хаттамасы 1 адресі бірнеше құрылғының бар екенін білмейді, демек, ол *5.16 ә-суретіндегі* топологияда көрсетілгендей, барлығын бір түйін деп санайды.

Мұндай тәсіл, торап қалып-күйін есепке ала отырып маршруттау үшін де жұмыс жасайды. Мұнда, маршруттау хаттамасына 1 түйін арқылы өтетін, ең қысқа болып көрінетін жолды табу міндетті емес екенін айта кету керек. Бұл «аса үлкен кеңістіктен секіруге» әкелер еді, себебі 1 түйін үлгілері желінің әртүрлі бөліктерінде орналасқан. Алайда, қазір торап қалып-күйін есепке ала отырып маршруттау хаттамалары маршруттауыш пен хосты ажырата алады. Біз бұл жайлы осы уақытқа дейін айтқан жоқпыз, себебі қажеті болған жоқ.



5.16-сурет. Еркін маршруттау: а – еркін тарату маршруты; ә – маршруттау хаттамасы тұрғысынан көрінетін топология

5.2.10. Мобильді хосттар үшін маршруттау алгоритмі

Миллиондаған адамдар компьютерді қозғалыста жүріп пайдаланады. Мұнда іс жүзінде қозғалу жағдайы, сымсыз құрылғыларды қозғалыстағы автомашинада пайдалану, сонымен бірге портативті компьютерлерді біршама басқа орындарда пайдалану кіреді. **Мобильді хосттар (mobile hosts)** терминін біз тұрақты, ешуақытта қозғалмайтын хосттарға қарсы қою үшін, екі жағдайды да белгілеуде қолданатын боламыз. Соңғы кезде, көптеген адамдар, жер шарының қай нүктесінде жүргеніне тәуелсіз, үйдегідей жеңіл желіде болуды қалайды. Мұндай мобильді хосттар қосымша қиындыққа әкеледі: мобильді хостқа десте жөнелту үшін желі алдымен оны табу керек.

Біз мұнда, барлық хосттардың ешуақытта өзгертмейтін, үйде орналасқан орны бар (home location) әлем моделін қарастырамыз. Әр хосттың, сонымен бірге 1-212-5551212 АҚШ білдіреді (1 коды бар ел) және Манхеттен (212) телефон нөмірі тәрізді үйде орналасқан жерін анықтауға мүмкіндік беретін, тұрақты адресі бар. Мобильді хосттар жүйесінде маршруттаудың мақсаты, мобильді хосттарға, олардың тұрақты үй адресі арқылы дестені жеткізуді қамтамасыз ету. Бұл ретте десте хостқа, қайда орналасқанына тәуелсіз, тиімді түрде жетуі тиіс. Мұнда тең қиыны, әрине – хосты табу.

Бұл модель жайлы бірнеше сөз айта кеткен дұрыс. Мынадай нұсқа бар: хосттың орны өзгерген сайын, оған дейінгі маршрутты қайта есептеп отыруға болады не-

месе топология өзгерген кезде. Онда жай ғана, жоғарыда осы бөлімде айтылған маршруттау алгоритмдерін пайдалана салуға болады. Алайда, хосттардың саны қаншалықты тез өсіп отыратынын ескерсек, нәтижесінде бүкіл желі тек жаңа маршруттарды есептеумен айналысатыны белгілі болады. Үй адресін пайдалану есепті біршама жеңілдетеді.

Тағы бір нұсқа – желілік деңгей үстінде мобильділікті қамтамасыз ету. Іс жүзінде, қазір жылжымалы компьютерлермен болып отырған жағдай. Орналасқан орны өзгерген кезде олар жаңа желілік адрес алады, сонымен бірге, жаңа және ескі адрес бір-бірімен байланыспаған – тіптен желі оның бір компьютерге тиесілі екенін білмейді де. Бұл модельде, жылжымалы компьютер көмегімен желі мазмұнын қарауға болады, алайда басқа хосттар бұл компьютерге жоғары деңгейді адрес-теу процедурасын орындамай (мысалы, орын ауысқан кезде Skype қайта кіру), десте жөнелте алмайды (мысалы, кіріс қоңырауын шалу). Одан бетер, егер хост қозғалыста болса, байланыс орнатылмайды, бұл жағдайда жаңа байланыс орнату керек болады. Бұл мәселені, желілік деңгейдегі мобильділік орындай алады.

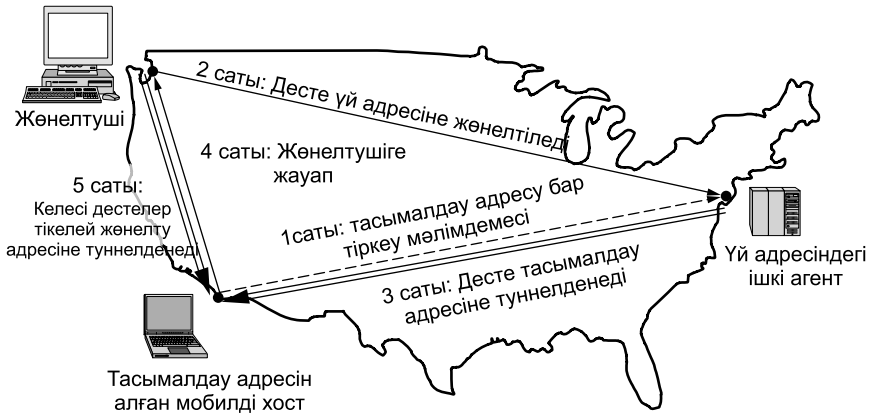
Интернет және ұялы байланыс желісіндегі мобильді маршруттау негізінде келесі ой жатыр: мобильді хост қайда жүргенін, үйде орналасқан орны бар хостқа хабарлауы тиіс. Бұл мобильді хост атынан операцияны орындайтын хост – ішкі агент (home agent) деп аталады. Мобильді хосттың орналасқан орнын біле салысымен, ол оған жеткізілуге тиіс дестелерді жөнелте бастайды.

5.17-сурет, мобильді маршруттау жұмысын көрнекті түрде бейнелейді. Солтүстік-шығыстағы, Сиэтл қаласында орналасқан жөнелтуші, АҚШ-тың келесі бетіндегі Нью-Йорк қаласында орналасқан хостқа десте жөнелткісі келеді. Бізді, мобильді хост үйде орналаспаған жағдай қызықтырады. Ол уақытша, Сан-Диегода орналасқан. Желіде жұмыс жасау үшін Сан-Диегодағы мобильді хост жергілікті желілік адрес алуы керек. Бұл әдеттегі процедура, Интернет желісі үшін қалай жұмыс жасайтындығы жайлы біз кейінірек айтамыз. Мұндай жергілікті адрес, **тасымалдау адресі (care of address)** деп аталады. Мобильді хост осы адресіті білгеннен кейін ол ішкі агентке өзінің орналасқан орны жайлы хабарлайды. Ол үшін ішкі агентке, тасымалдау адресі жазылған, тіркеу мәлімдемесін (1 саты) жөнелтеді. *5.17-суретте* мәлімдеменің ақпараттық емес басқарушы екенін көрсету үшін ол үзік сызықпен белгіленген.

Ары қарай жөнелтуші, деректер дестесін тұрақты адрес арқылы мобильді хостқа жөнелтеді (2 саты). Желі бұл дестені, хосттың үйде орналасқан орнына жібереді, себебі нақты осы үй адресі оған тиесілі. Нью-Йоркте ішкі агент дестені ұстап алады, себебі мобильді хост үйден алыста. Содан кейін ол, жаңа тақырыппен десте құрастырады да (**инкасуляциялайды – encapsulates** немесе кейде «орайды» – wraps дейді), осының барлығын тасымалдау үшін адреске жөнелтеді (3 саты). Мұндай әдіс **туннельдеу (tunneling)** деп аталады. Интернет желісі жұмысында оның маңызы зор болғандықтан, ары қарай ол жайлы егжей-тегжейлі айтамыз.

Бұл десте тасымалдау адресіне келген кезде, мобильді хост дестені ашып, жөнелтушіден келген деректерді оқиды. Ары қарай мобильді хост, жөнелтушіге тікелей жауап дестесін жөнелтеді (4 саты). Бүкіл осы жол, **үшбұрышты марш-**

путтай (**triangle routing**) деп аталады. Егер қашықтықта орналасқан орын, үйде орналасқан орнынан алшақ болса, ол түзу болмауы мүмкін. 4-сатыда жөнелтуші ағымдағы тасымалдау адресін біледі. Келесі дестелерді туннель арқылы тасымалдау адресіне жібере отырып (5 саты), мобильді тұтынушының үйде орналасқан орнын толығымен айналып өтіп, тікелей мобильді хостқа жөнелте алады. Егер мобильді құрылғы қозғалысынан байланыс үзіліп кетсе, байланыс үшін әрқашанда үйде орналасқан орынды пайдалануға болады.



5.17-сурет. Мобильді хосты бар дестелерді маршруттай

Біз тағы бір маңызды қырға: қауіпсіздікке көңіл бөлмедік. Әдетте, хост немесе маршруттайыш: «Осы уақыттан бастап, Стефаниге арналған поштаның барлығын маған жіберуіңізді сұраймын», – деген түрдегі мәлімдеме алған кезде, мысалы, мен кіммен сөйлестім, бұл қолқаға келісуім керек пе, жоқ па? – деген сұрақ туындайды. Сондықтан мәлімдеменің шын екенін, криптографиялық хаттамалар (бұлар жайлы біз 8-тарауда айтамыз) көмегімен тексеру үшін мәлімдемеге қауіпсіздік жайлы ақпарат қосылады.

Мобильді маршруттайудың көптеген түрлі схемалары бар. Жоғарыда айтылған алгоритм IPv6 мобильдігіне негізделген – Интернет желісі (Джонсон және басқалар, 2004) және UMTS ұялы байланыстың IP-желілерінде қолданылатын мобильдік форма. Қарапайымдылық үшін, біздің мысалымызда, жөнелтуші тұрақты түйін ретінде қарастырылды, алайда алгоритм екі түйінге де мобильді хост болуға мүмкіндік береді. Немесе хост мобильді желінің бөлігі болуы мүмкін, мысалы, ұшақтағы желі. Базалық схеманы бұлай кеңейту хосттан ешқандай қосымша іс-әрекетті қажет етпейді (Devarapalli және басқалар, 2005).

Кейбір схемаларда сыртқы (демек, қашықтықтағы) агент пайдаланылады – бұл да сол ішкі агентпен бірдей, тек сыртта орналасқан. Ұялы желі байланысындағы сыртқы агенттің баламасы – VLR (Visitor Location Register – қонақ орнын тіркеу). Алайда, көптеген жаңа схемаларда агент қажет емес, мобильді хосттардың өздері, өз сыртқы агенттері болып саналады. Кез келген жағдайда, мобильді хосттың

уақытша орнын білу, хосттардың аздаған санымен шектеледі (мысалы, мобильді құрылғы, ішкі агент және жөнелтуші), сондықтан ірі желі маршруттауыштарына маршрутты қайта есептудің қажеті жоқ.

Мобильді маршруттау жайлы егжей-тегжейлі ақпаратты Perkins (1998, 2002), Snoeren және Balakrishnan (2000) жұмыстарынан табуға болады.

5.2.11. Еркін желілерді маршруттау

Сонымен, біз станциялар мобильді, ал маршруттауыштар тұрақты болған жағдайда, маршруттаудың қалай жүзеге асырылатынын қарастырдық. Маршруттауыштардың өздері мобильді болғанда, тіпті қызықты жағдай туындайды. Бұл, мысалы, жер сілкінісі болған жердегі апат қызметтеріне, ұрыс алаңындағы әскери техникаға, теңізде жүрген теңіз флотына немесе портативті компьютерлері бар топқа, 802.11 желісі жоқ болған жағдайда керек болуы мүмкін.

Осындай жағдайлардың барлығында, әр түйін сымсыз байланысты қолданып, бір мезгілде хост және маршруттауыш рөлін атқарады. Тағдырдың айдауымен, бір-бірінен алыста орналасқан түйіндерден тұратын желілер, **еркін желілер (ad hoc networks) немесе мобильді еркін желілер (MANET – Mobile Ad hoc NETWORKS)** деп аталады. Осы желілерді қысқаша қарастырайық. Толығырақ ақпаратты (Perkins, 2001) басылымынан қарауға болады.

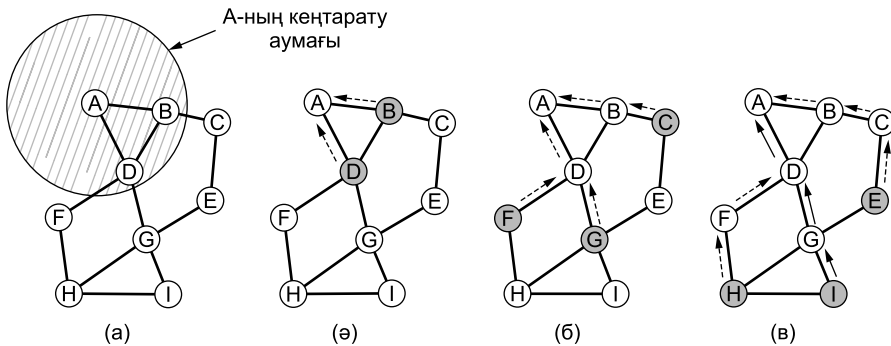
Еркін желілердің әдеттегі сымды желілерден басты айырмашылығы, топология кенеттен қараудан шығарылады. Түйіндер жүйеде жеңіл пайда болып, осылайша жеңіл жоғалып, басқа бір жерден шығуы мүмкін. Әдеттегі желіде маршруттауыштан қандай да бір адресатқа дейінгі жол, қандай да бір апат болғанша (бұл жағдай сирек болады деп сенеміз) тұрақты болып қалады. Еркін желілерде топология үнемі өзгеріп отырады, ал онымен бірге ұнамды (тіпті, жұмыс жасап тұрған) жолдар да өзгеріп отырады. Бұл өзгерістер ешбір ескертусіз, кенеттен болады. Мұндай жағдайда маршруттау, тұрақты желіге қарағанда қиын екендігін айтудың да қажеті жоқ. Еркін желілер үшін маршрутты таңдаудың көптеген алгоритмдері бар. Алайда, мобильді желілермен салыстырғанда, еркін желілер іс жүзінде кеңінен қолданылмайтындықтан, бұл хаттамалардың қайсысы ыңғайлы және тиімді екені белгісіз. Мысал ретінде ең танымалын қарастырайық – **AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector – еркін желілерде талап бойынша арақашықтық векторы арқылы маршруттау)**. Бұл хаттама жайлы (Perkins және Royer, 1999) басылымынан оқуға болады. AODV, арақашықтық векторы тәсілінің, мобильді ортада жұмыс істеуге бапталған нұсқасы. Мұнда түйіндердің өткізгіштік қабілеттілігі және жеке қоректену элементінен жұмыс жасау уақыты шектелген. Осы алгоритмнің маршрутты есептеп, олардың өзгеруін қалай қадағалайтынын қарастырайық.

Маршрут құру

AODV-да тағайындалған адреске дейінге маршрут «талап ету бойынша»

есептеледі, демек тек кім де кім осы адреске десте жөнелтпек болған кезде. Бұл артық жұмыс жасаудан бас тартуға мүмкіндік, маршрутты екі рет санаудың қажеті жоқ. Еркін желінің топологиясы кез келген сәтте өзара байланысқан түйіндер графы ретінде сипатталады. Егер екі түйін тікелей радио арқылы байланыса алса, онда олар өзара байланысқан (демек олардың арасында доға жүргізілген) деп саналады. Біздің мақсат үшін әр түйін, қамту шеңберінде орналасқан басқа түйінмен байланыса алатын, қарапайым, бірақ дәлме-дәл модель керек. Іс жүзінде желілер әлдеқайда күрделі құрастырылған: баланстарға ғимараттар, жоталар және т.б. кедергі келтіруі мүмкін. Сонымен бірге, желіде A түйіні B түйінімен жалғанған, ал B A -мен жалғанбаған жағдай болуы мүмкін, себебі оның біреуінің тасымалдаушы екіншісіне қарағанда әлдеқайда қуатты. Қарапайымдылық үшін біз олардың барлығы симметриялы байланысқан деп есептейміз.

Алгоритмді сипаттау үшін 5.18-суретте бейнеленген, жақын арада құрастырылған еркін желіні қарастырайық. Айталық, A түйінінде жіберілген үрдіске I түйініне десте жөнелту керек делік. AODV алгоритмі әр түйінде арақашықтық векторының кестесін жүргізеді. Кестеге қол жеткізу адрес өрісі арқылы іске асырылады. Кестеде адресат жайлы ақпарат жазылған, сонымен бірге, тағайындалған адреске жету үшін дестені жөнелтуге болатын жақын көршісі жайлы мәлімет бар. Алдымен A осы кестені қарап, I жайлы жазба таппайды. Демек, осы түйінге баратын маршрутты табу керек. Сонымен, алгоритм маршрутты іздеумен тек қажет болған кезде айналысады. Міне, осыны «талап ету бойынша» алгоритмі орындайды.



5.18-сурет. Еркін желі: а – кең тарату аймағы; б – B және D түйіндері дестені алғаннан кейінгі жағдай; в – C , F және G түйіндері алғаннан кейінгі жағдай; г – E , H және I түйіндері алғаннан кейінгі жағдай. Боялған дөңгелекпен жаңа қабылдаушылар белгіленген. Үзік сызықпен мүмкін деген кері маршрут көрсетілген. Тегіс сызықпен құрастырылған маршрут көрсетілген

I түйінін іздеу үшін A маршрутты сұрау дестесін ROUTE REQUEST генерациялайды және оны желі арқылы құю тәсілімен (5.2.3-бөлімді қара) таратады. 5.18-а-суретінде дестенің B және D түйіндеріне жеткені көрсетілген. Ара қарай түйін

сұранысты қайта жібереді, нәтижесінде ол *C*, *F* және *G* түйіндеріне (5.18 б-суреті) және *E*, *H* және *I* түйіндеріне (5.18 в-суреті) жетеді. Құю кезінде дестенің артық көшірмелерінен құтылу үшін, реттік нөмір пайдаланылады. Мысалы, *D* дестені *B*-дан қабылдамайды (5.18 ә-суреті), себебі ол сұранысты жіберіп қойды. Ең соңында сұраныс, ROUTE REPLY дестесін құрастыратын, *I* түйініне жетеді. Бұл десте жөнелтушіден сұраныс келген жолмен қайта жөнелтіледі. Қайта жөнелту мүмкін болу үшін әр түйін сұранысты кімнен алғанын есте сақтауы тиіс. Түйіндер жадысында сақталған кері маршрут жайлы ақпарат 5.18 а-в-суреттерінде бағыттауыш сызықпен көрсетілген. Сұранысты жөнелткен кезде әр түйін, транзиттік аймақтар санауышын өсіріп отырады. Бұл түйіннің тағайындалған адресстен қаншалықты алыс орналасқанын түсінуге мүмкіндік береді. Жауапта, әр түйінге тағайындалған адреске арналған дестені қай көршісіне беру керек екендігі хабарланады: жауап келген түйінге беру керек. Жауапты өңдеу кезінде *G* және *D* түйіндері маршруттау кестесіне ең жақсы маршрут жайлы мәлімдеме жазады. Жауап *A* түйініне жеткен кезде, жаңа *ADGI* маршруты пайда болады.

Үлкен желілерде алгоритм көптеген кең таратылымды дестелерді генерациялайды, тіпті бір-біріне жақын орналасқан адресаттар үшін де. Шығынды азайту үшін, кеңтарату аумағы IP-дестенің Өмір сүру уақыты (Time of live) өрісімен шектелуі мүмкін. Бұл өрісті жөнелтуші қояды және әр жөнелтілген сайын кеміп отырады. Өріс мәні 0-ге тең болған кезде, десте ары қарай таратылмайды. Бұл ретте жолды іздеу біршама өзгереді. Адресатты анықтау үшін жөнелтуші, Өмір сүру уақыты бірге тең маршрутты сұрау дестесін жөнелтеді. Егер белгілі бір уақыт аралығында жауап келмесе, Өмір сүру уақыты екіге тең десте жөнелтеді. Тағы сол сияқты. Сонымен, қандай да бір жергілікті ауданда басталған іздеу, қамту шеңберін кеңейтеді.

Маршрутқа қызмет көрсету

Түйіндер қозғалып және өшіп қалуы мүмкін болғандықтан, желі топологиясы кенеттен өзгеруі мүмкін. Мысалы, егер де 5.18-суретіндегі *G* түйіні өшіп қалса, *A* *I*-ға баратын жолды (*ADGI*) енді жүзеге асыру мүмкін емес екенін түсінбей қалады. Алгоритмге бұнымен, қалай да күресу керек. Белгілі бір кезең сайын барлық түйіндер *Hello* сәлемдесу мәлімдемесін таратып отырады. Барлық түйіндер «джентельмен» болғандықтан, бұл мәлімдемеге жауап береді деп күтіледі. Егер жауап келмесе, демек көрші әрекет ету аумағынан немесе істен шықты және енді бұл түйінмен байланыста жоқ. Сәйкесінше, егер ол жауап бермеген көршісіне десте жібергісі келсе, ол байланысу мүмкін емес екенін біледі.

Бұл ақпарат жұмысшы емес түйіндерді жою үшін пайдаланылады. Әрбір мүмкін деген адресаттар үшін әр түйін қандай екпінді көршілер оны осы адресаттар үшін соңғы ΔT секунд ішінде қандай дестелермен қамтамасыз еткені жайлы *N* тарих сақтайды.

N түйіннің қандай да бір көршісі қолжетімсіз болған кезде, *N* түйін өзінің маршруттау кестесін тексереді – енді кеткен түйінге баратын жолдың қандай адре-

саттар арқылы өткенін білу керек. Барлық екпінді көршілерге, бұл жолды енді пайдалануға болмайды және оны маршруттау кестесінен алып тастау керек екені жайлы хабарлайды. Біздің мысалымызда, D түйіні өз маршруттау кестесінен G және I -ге арналған жазбаларды алып тастайды және бұл жайлы A -ға хабарлайды, ол өз кезегінде I -ді алып тастайды. Жалпы алғанда, екпінді көршілер бұл хабарламаны өздерінің екпінді көршілеріне жібереді және т.с.с. Осылайша, іспен шыққан түйін барлық маршруттау кестесінен алынып тасталғанша.

Енді барлық дұрыс емес маршруттар желіден алынып тасталған кезде, жөнелтушілер жоғарыда айтылған тәсілге сәйкес жаңа жұмысшы жолдарды есептей алады. Алайда, мұнда бір қиындық бар. Егер естеріңізде болса, желі топологиясы өзгерген кезде, арақашықтық векторы хаттамалары баяу конвергенция және шексіздікке дейін санау мәселесіне тап болатын, нәтижесінде олар ескі маршрутты жаңасымен шатыстырып алуы мүмкін.

Шапшаң конвергенцияны қамтамасыз ету үшін маршруттарға қабылдаушы бақылайтын реттік нөмір беріледі. Қабылдаушының реттік нөмірі – өз алдына логикалық сағат. Қабылдаушы бұл нөмірді, әрбір жаңа ROUTE REPLY дестесін жөнелткен сайын өсіріп отырады. Жаңа маршрутты сұрау үшін ROUTE REQUEST дестесіне, қабылдаушының соңғы қолданыста болған маршруттағы реттік нөмірін қосады. Бұл, не қазір ғана жойылған маршруттың нөмірі немесе бастапқы мән - 0 болуы мүмкін. Сұраныс кең таратылу әдісімен, реттік нөмірі үлкен маршрут табылғанша беріледі. Аралық түйіндер реттік нөмірі үлкен немесе ағымдағы реттік нөмір үшін, аралық түйіндер саны аз маршрутты сақтайды.

«Талап ету бойынша» хаттамасына ұқсас, түйіндер тек осы уақытта қолданылатын маршруттар жайлы ақпаратты сақтайды. Басқа маршруттар тек белгілі бір уақыт аралығында сақталып, кейіннен жойылады. Тек қолданыстағы маршруттарды есепке алу және сақтау, өткізу жолағын тиімді пайдалануға және қоректену элементінен жұмыс жасау уақытын ұзартуға (оқтын-оқтын жаңартуларды тарататын стандартты арақашықтық векторынан ерекшелігі) мүмкіндік береді.

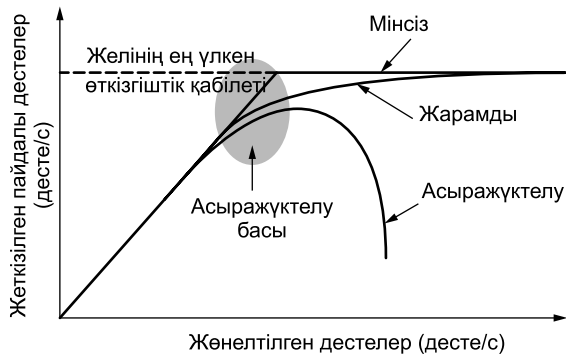
Біз әзірше тек бір маршрутты қарастырдық: A -дан I -ге. Ресурстарын көбірек үнемдеу үшін, қиылысатын маршруттарды тұрғызу және қызмет көрсету бірге жүргізіледі. Мысалы, B -да I -ге десте жөнелткісі келеді, ол маршрутты есептейді. Бұл жағдайда сұраныс алдымен, I -ға дейінгі маршрут барын білетін D -ға келеді. Сол кезде D түйіні B -ға қолданыстағы қажет маршрутты жауап ретінде жібереді, сөйтіп артық есептеу жүргізуден босатады.

Еркін желілердегі маршруттаудың көптеген басқа схемалары бар. Тағы бір белгілі «талап ету бойынша» алгоритмі **DSR (Dynamic Source Routing – ақпарат көзінен динамикалық маршруттау)** деп аталады (Johnson 2001). Географияға негізделген басқа стратегия **GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing – периметр бойынша қалып-күйді есермей «саран» маршруттау хаттамасы)**. Егер барлық түйіндер өзінің географиялық орналасқан орнын білсе, қабылдаушыға дестені маршрутты есептеусіз жеткізуге болады: дестені әр кез дұрыс бағытта жөнелтуге болады, тек жол тұйыққа тірелген жағдайда ғана кері оралады. Хаттаманы таңдау, ең алдымен еркін желінің сипаттамаларына байланысты.

5.3. АСЫРА ЖҮКТЕУМЕН КҮРЕСУ АЛГОРИТМДЕРІ

Желі (немесе оның бөлігі) арқылы бір мезгілде тасымалданатын дестелер саны, қандай да бір шекті деңгейден асқан кезде, желі өнімділігі төмендей бастайды. Мұндай жағдай асыра жүктеу (congestion) деп аталады. Асыра жүктеумен күреске желілік және транспорттық деңгей жауап береді. Асыра жүктеу желіде орын алатын болғандықтан, онымен нақты желілік деңгей кездеседі және артық дестелермен не істеу керек екендігін, нақты желілік деңгей шешуі тиіс. Алайда, асыра жүктеумен күресудің тиімді тәсілі – транспорттық деңгей тарапынан желіге жүктемені азайту. Олай болса, желілік және транспорттық деңгейлер бірлесе отырып жұмыс жасауы тиіс. Бұл тарауда біз асыра жүктеудің желілік деңгейге қатысты тұстарын қарастырамыз. Алайда, мәлімет толығырақ болу үшін, асыра жүктеудің транспорттық деңгей аспектісіне біз *6-тарауда* ораламыз.

5.19-суретте асыра жүктеудің қалай басталатыны көрсетілген. Хосттардың желіге жөнелтетін дестелерінің саны, желінің өткізгіштік қабілеттілігінен аспаған кезде, жеткізілген дестелер саны жөнелтілгендер санына пропорционалды. Егер екі есе көп десте жөнелтілсе, екі есе көп десте жеткізіледі. Алайда, желі жүктемесі өткізгіштік қабілеттілікке жақындаған сайын, үлкен көлемдер маршруттауыштар буферін толтырады, нәтижесінде кейбір дестелер жоғалады. Бұл жоғалған дестелер, өткізгіштік қабілеттің бір бөлігін шығындатады, сондықтан жеткізілген дестелер саны мінсіз қисықтан төмен орналасады. Бұл желі асыра жүктелді дегенді білдіреді.



5.19-сурет. Трафик деңгейі тым жоғарылаған кезде асыра жүктелу басталады және желі өнімділігі күрт төмендейді

Егер желі мінсіз құрастырылмаған болса, онда **көптелістер (congestion collapse)** болуы мүмкін, ол кезде өнімділік желі жүктеуі өскен сайын кемиді (егер жүктелу, өткізгіштік қабілеттіліктен асып кетсе). Дестелердің желіде кідіргені соншалық, жеткен кезде керегі болмай қалуы мүмкін. Мысалы, Интернет желісінің ертедегі жұмыс кезінде, дестенің, жөнелтілмеген дестелерді күтіп кезекте өткізген уақыты

(жылдамдық 56 Кбит/с), көбіне дестенің желіде болу уақытынан әлдеқайда көп болатын. Нәтижесінде, оларды жою керек болды. Тағы бір жағымсыз сценарий-жағдай – жөнелтушілер, кідірген дестелерді жоғалған екен деп, қайталап жібереді. Бұл жағдайда желінің өткізгіштік қабілеттілігі тиімсіз пайдаланылады, себебі желі арқылы бір дестенің көшірмелері жөнелтіліп отыр. Бұл факторлардың өнімділікке әсерін көрнекі түрде бейнелеу үшін, біз у осінде (5.19-суретті қараңыз) **пайдалы жүктелуді (goodput)** көрсеттік, демек, желі бойымен *пайдалы* дестелер жөнелтілетін жылдамдық.

Мінсіз жағдайда желі, онда асыра жүктелу сирек болатындай және асыра жүктелу болған жағдайда, кептелістер болмайтындай етіп құрылуы керек. Өкінішке орай, асыра жүктеуді үнемі болдырмау мүмкін емес. Егер дестелер ағыны маршруттауышқа бірден үш немесе төрт кіріс тораптары арқылы келе бастаса және олардың барлығына бір шығыс торапы қажет болса, онда кезек туындайды. Маршруттауышта, келіп жатқан дестелерді буферлеуге қажет бос жады біткен кезде, оларды сақтайтын орын болмайды, дестелер жоғала бастайды. Маршруттауыштардың жады көлемін өсіру қандай да бір көмек болуы мүмкін, бірақ Нэгл (Nagle) 1987 жылы, тіпті маршруттауыштардың жады көлемі шексіз болса да, асыра жүктеу жағдайы жақсармайды, керісінше қиындайды деген болатын. Себеп: дестелер кезек басына жеткенше, олардың кешіккендігі соншалық, ақпарат көздері дестенің көшірмесін жөнелтеді. Нәтижесінде, жағдай жақсармайды, қиындайды, желіде кептеліс пайда болады.

Дестелерді өңдеу жылдамдығы тораптың өткізгіштік қабілетінен төмен маршруттауыштар және өткізгіштік қабілеттілігі төмен тораптар да желінің асыра жүктелу себебі болуы мүмкін. Мұндай жағдайда мәселені трафикті «жіңішке орынды» айналып өтіп, желінің басқа бөлігіне бағыттау керек. Екінші жағынан бұл желінің барлық аудандарының асыра жүктелуіне әкеледі. Бұл жағдайда не жүктемені азайту керек, не басқа жылдам желі құрастыру керек.

Асыра жүктеумен күресу және ағынды басқарудың айырмашылығын түсіну қажет. Асыра жүктеуді болдырмау, желінің ұсынылған трафикті игеретініне кепілдік береді. Бұл – барлық хосттар мен маршруттауыштардың тәртібін қоса қамтитын, ауқымды мәселе. Ағынды басқару, керісінше, нақты екі станция – жөнелтуші және қабылдаушы арасындағы трафикке қатысты сұрақ. Ағынды басқару мәселесі, жөнелтуші жылдамдығын қабылдаушының дестелер ағынын қабылдай алатын жылдамдығымен сәйкестендіру.

Осы екі мәселе арасындағы айырмашылық түсінікті болу үшін, өткізгіштік қабілеті 100 Гбит/с, оптоалшықты тораптан тұратын желіні елестетіңіз. Енді, осы желі арқылы суперкомпьютер, деректерді 1 Гбит/с қабылдай алатын дербес компьютерге үлкен файл жөнелтпек болды делік. Желіде осы сәтте асыра жүктелу болмағанымен, ағынды басқару алгоритмі дербес компьютер файлды қабылдап үлгеру үшін, суперкомпьютерді жөнелтуді жиі тоқтатуға мәжбүрлейді.

Міне басқа мысал. Өзара 1 Мбит/с өткізгіштік қабілеттілігі бар тораппен байланысқан, 1000 үлкен компьютерлерден тұратын, желіні қарастырайық. Компьютерлердің бір бөлігі екіншісіне, файлдарды 100 Кбит/с жылдамдықпен

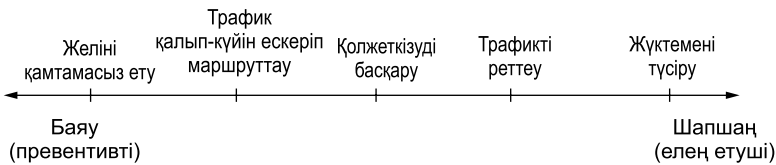
жөнелтуге тырысады. Бұл жерде мәселе, баяу қабылдаушының, шапшаң жөнелтушінің жіберген деректерін қабылдап үлгермеуінде емес, желінің ұсынылған трафикті өткізе алмауында.

Ағынды басқаруды асыра жүктеумен шатастырудың себебі, екі жағдайда да ең жақсы шешім – хосттың баяу жұмыс жасауын талап ету. Сонымен, хост жұмысты баяулату жайлы өтінішті екі жағдайда алуы мүмкін: қабылдаушы келіп жатқан ағынды игере алмайды немесе оны бүкіл желі игере алмайды. Біз бұл мәселені әлі де 6-тарауда қарастыратын боламыз.

Біз асыра жүктелумен күресу алгоритмдерін түрлі уақыт кезеңдері шеңберінде қолданылатын жолдардан бастап қарастырамыз. Сонан кейін, асыра жүктелуді болдырмау тәсілдерімен танысамыз, сонымен бірге асыра жүктелу салдарымен күресу алгоритмдерін қарастырамыз.

5.3.1. Асыра жүктеумен күресу амалдары

Асыра жүктеудің болуы, желі жүктелуі (уақытша) ресурстар (желілік) мүмкіндігінен жоғары дегенді білдіреді. Сәйкесінше, екі шешім бар: ресурстарды көбейту не жүктемені төмендету. *5.20-суретте* көрсетілгендей, бұл шешімде әдетте, не қажет екендігіне байланысты әртүрлі уақыт шкаласын пайдаланады: асыра жүктелуді болдырмау немесе одан құтыла алмасақ, оны игеру.



5.20-сурет. Асыра жүктелумен күресу амалының уақыттық шкаласы

Асыра жүктелуді болдырмаудың қарапайым шешімі – тасымалданатын трафикке сәйкес келетін желі құрастыру. Егер жолдың әдетте үлкен көлемдегі деректер тасымалданатын бөлігінің өткізгіштік қабілеттілігі төмен болса, асыра жүктелудің пайда болу ықтималдығы жоғары. Кейде, асыра жүктелу орын алған кезде, ресурстарды динамикалық түрде қосуға болады, мысалы, бос маршруттауыштарды немесе қордағы торапты (жүйенің істен шығу тұрақтылығын қамтамасыз ететін) қосу немесе өз нарығында қосымша өткізгіштік қабілеттілікті сатып алу. Әдетте, көп жүктелген байланыстар мен маршруттауыштар ең бірінші мүмкіндікте жаңартылады. Бұл үрдіс, **қамтамасыз ету (provisioning)** деп аталады және трафик динамикасы жайлы ұзақ мерзімді деректерге сүйене отырып, уақыт шкаласында айды пайдаланады.

Желі өткізгіштік қабілеттілікті неғұрлым тиімді пайдалану үшін, маршруттар, тәулік бойында, тұтынушылардың әртүрлі уақыт аймақтарында, ұйқыдан

тұратын және ұйқыға кететініне байланысты, трафиктің арнайы схемасына сәйкес тұрғызылуы мүмкін. Мысалы, трафикті, ең қысқа жолдың салмақтық коэффициентін өзгерте отырып, асыра жүктелген тораптан алып кетуге болады. Кейбір радиостанциялар, жолдағы асыра жүктеліс жайлы мәліметті алып, радиотыңдармандарға тарату үшін тікұшақты пайдаланады. Осы мәлімет арқасында, радиотыңдаушылар «ыстық нүктені» айналып өтеді. Бұл трафик қалып-күйін ескере отырып маршруттау (traffic-aware routing) деп аталады. Олай болса, трафикті де бөліп, әртүрлі тораптарға бағыттаған пайдалы. Бірақ кей жағдайда өткізгіштік қабілеттілікті жоғарылату мүмкін емес. Онда асыра жүктелумен күресудің жалғыз жолы – жүктелуді азайту. Виртуалды арналар желісінде, жаңа байланыстар желінің асыра жүктелуіне әкелетін болса, онда арна олардан бас тартуы мүмкін. Бұл қол **жеткізуді басқару (admission control)** деп аталады.

Бұдан да күрделі нұсқа болуы мүмкін: асыра жүктелу сөзсіз болса, желі, трафигі мәселе туындатқан жөнелтушіге, кері байланыс мәлімдемесін жіберуі мүмкін. Желі жөнелтушіден трафикті азайтуды сұрауы немесе оны өзі жасауы мүмкін.

Бұл жол (**трафикті реттеу – traffic throttling**) екі сұраққа жауапты қажет етеді: асыра жүктелу басын қалай анықтау және трафикті баяулату жайлы жөнелтушіге қалай хабарлау керек. Егер маршруттауыштар желідегі орташа жүктелуді, күту уақыты және жоғалған дестелер саны арқылы бақылайтын болса, онда бірінші мәселені шешуге болады. Кез келген жағдайда, параметрлер мәнінің өсуі, асыра жүктелудің жақындағаны жайлы сигнал береді.

Екінші мәселені шешу үшін, маршруттауыштың жөнелтушінің кері байланыс ілмегіне кіруі қажет. Бұл схема жұмыс жасау үшін, уақыт параметрлерін мұқият баптау қрек. Егер, екі десте бір мезгілде келген сайын, қандай да бір маршруттауыш: «Токта!» – деп айғайласа, 20 мкс тұрғаннан кейін ол: «Баста» – деп команда береді. Жүйе үнемі, өшпейтін толқын қалып-күйінде болады. Екінші жағынан, егер маршруттауыш қандай да бір мәлімдеме айтпас бұрын сенімділік үшін 30 минут күтетін болса, онда асыра жүктелумен күрес механизмі тым баяу әрекет етеді және ешқандай пайда әкелмейді. Қазіргі заманғы кері байланыс мәлімдемесін жеткізу – қарапайым мәселе емес. Сонымен бірге, желі асыра жүктелген болса, маршруттауыштың көп мәлімдеме жөнелтуін талап ету керек.

Соңында, егер барлық басқа тәсілдер жұмыс жасамаса, желі жөнелте алмаған дестелердің барлығын жоюға мәжбүр болады. Ол үшін **жүктелуді түсіру (load shedding)** деген жалпы термин қолданылады. Егер жойылатын дестелер дұрыс таңдалса, кептелісті болдырмауға болады.

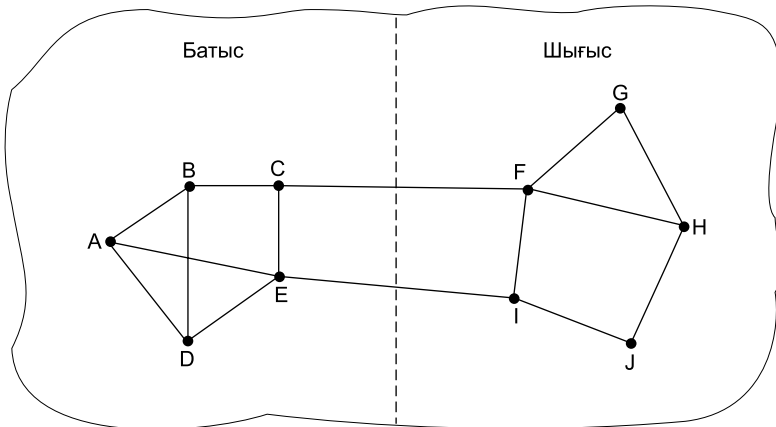
5.3.2. Трафик қалып-күйін ескере отырып маршруттау

Біз қарастыратын, бірінші амал, трафик қалып-күйін ескере отырып маршруттау деп аталады. Біз 5.2-бөлімде қарастырған схемалар, байланыстың тұрақты салмақтық коэффициентін пайдаланады. Бұл схемалар топологияның өзгеруіне

бейімделе алады, бірақ жүктелудің өзгеруіне емес. Маршрутты есептегенде жүктемені есепке алудың себебі, осының арқасында трафик ағынан, ең алдымен асыра жүктелу басталатын, «ыстық нүктеден» алып кетуге болады.

Ең қарапайым тәсіл – байланыстың салмақтық коэффициентін, байланыстың өткізгіштің қабілетінің және таратылу кідірісі, сонымен бірге (айнымалы) өлшенген жүктеме немесе кезекте күтудің орташа уақытының функциясы (тұрақты) ету керек. Нәтижесінде салмағы аз жолдар, параметрлер бірдей болғанда, ең аз жүктелген болады.

Трафик қалып-күйін ескере отырып маршруттау, ертеде Интернет желісінде, осы тәсіл шеңберінде пайдаланылған (Khanna және Zinky, 1989). Алайда, мұнда кішкене қауіп бар. *5.21-суретте* бейнеленген желіні қарастырайық. Ол екі бөлікке бөлінген – *CF* және *EI* байланыстарымен біріктірілген, Батыс және Шығыс бөліктері. Айталық, Батыс пен Шығыс арасындағы негізгі трафик, *CF* байланысы арқылы өтеді, нәтижесінде бұл торап асыра жүктелген және ол ұзақ кідірістерге әкелді делік. Ең қысқа жолды есептеу кезінде, кезекте күту уақытын есептеу, *EI* байланысы танымал етті делік. Маршруттау кестесіне өзгерістер енгізгеннен кейін, трафиктің көбі *EI* байланысы арқылы жүреді, сөйтіп ол асыра жүктеледі. Сондықтан, келесі кестесін жаңарту кезінде, ең қысқа жол қайтадан *CF* байланысы болады. Соңында, маршруттау кестесіндегі мәндер қатты толқитын болады, бұл маршрутты таңдау кезінде қателіктерге және басқа да мәселелерге әкеледі.



5.21-сурет. Батыс және шығыс бөліктері екі байланыспен қосылған желі

Егер жүктемені шетте қалдырып, тек өткізгіштік қабілеттілік пен тарату кідірісін ескерсек, мұндай мәселе туындамайды. Салмақ мәнінің жіңішке диапазонын арқылы жүктемені ескеру, маршруттар толқынын тек баяулатады. Мәселенің табысты шешімі екі тәсілге негізделген. Біріншісі – жөнелтуші мен қабылдаушы арасында бірнеше жол болатын, көпжолды маршруттау. Бұл, біздің мысалға бай-

ланысты, дестелер Батыс пен Шығыс арасында екі байланыс арқылы да тасымалданыды дегенді білдіреді. Екінші тәсіл: маршруттау схемасы трафикті маршрут бойымен жинақталатындай, өте баяу тасымалдауы керек (мысалы, Gallagher схемасы осылай жұмыс жасайды, 1977).

Осы қиындықтардың салдарынан, Интернет желісі, әдетте желі жүктемесі негізінде маршрут құрастырмайды. Мұның орнына, жүктеме маршруттау хаттамасынан тыс, кіріс деректерінің өзгеруі арқылы реттеледі. Бұл **трафикті басқару (traffic engineering)** деп аталады.

5.3.3. Қол жеткізуді басқару

Виртуалды арналар желісінде асыра жүктелуді болдырмаудың кең таралған тәсілі **қолжеткізуді басқару** болып келеді. Бұл тәсіл идеясы қарапайым: желі қосымша трафикті қайта жүктелусіз өндей алмайтын болғанша, жаңа виртуалды арна құрастырудың қажеті жоқ. Демек, виртуалды арнаны қосуға деген кез келген талпыныс сәтсіз аяқталуы мүмкін. Бұл жақсы шешім, егер, осы мезетте бос емес желіге қосымша тұтынушыларды жіберсе, онда жағдай тек нашарлай түседі. Сәйкес жағдайлар телефон жүйесінде орын алып отырады: коммутатор асыра жүктелген кезде сіз телефон трубкасын көтеріп, гудок естімейсіз.

Бұл амалдың артықшылығы – жаңа виртуалды арнаны қосу асыра жүктелуге әкелетін жағдайда әлдеқайда елеулі. Телефон жүйелерінде бұл мәселе қарапайым, тұрақты өткізгіштік қабілеттілікпен шешіледі (тығыздалмаған аудио үшін 64 Кбит/с). Алайда, компьютер желілерінде түрлі виртуалды арналар пайдаланылады. Сондықтан, егер біз қол жеткізуді басқаруға жүгінетін болсақ, онда арналарда трафиктің белгілі бір сипаттамалары болуы тиіс.

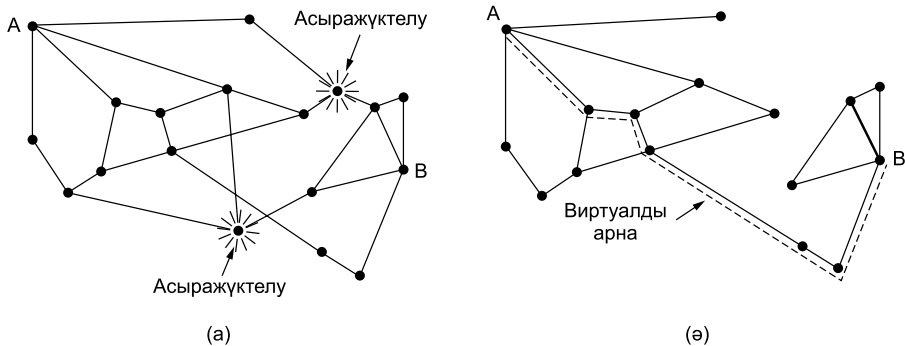
Трафик сипаттамасы ретінде форма және жылдамдық жиі пайдаланылады. Алайда, бұл сипаттамаларды қарапайым және байыпты жазу қиын мәселе: трафик әдетте біркелкі емес, сондықтан орташа жылдамдық көрсеткіш бола алмайды. Мысалы, Желіде іздеуді қамтамасыз ету, тура осы көлемдегі ағындық видеоны қарағаннан әлдеқайда қиын, себебі трафиктің маршруттауышты асыра жүктелуге әкелу ықтималдығы жоғары. Бұны **жиі тесік шелек (leaky bucket)** немесе **маркерлі шелек (token bucket)** әсері деп атайды. Тесік шелек, орташа жылдамдықты шектейтін және трафикті лезде түсіру, екі параметрді пайдаланады. Тесік шелек алгоритмі қызмет көрсету сапасын жақсарту үшін жиі қолданылады, сондықтан біз ол жайлы *5.4-бөлімде* толығырақ айтамыз.

Трафик сипаттамаларымен қаруланып, желі жаңа виртуалды арна қосу жайлы шешім қабылдайды. Қайта жүктелуді болдырмас үшін желі, мысалы, жол өткізгіштік қабілеттілігінің бір бөлігін, әр виртуалды арна үшін қорда сақтайды. Бұл жағдайда трафик сипаттамасы, желі тұтынушыға ұсынуға міндет етіп алатын, қызмет көрсету келісімшарты рөлін атқарады. Біз асыра жүктеуді болдырмадық, бірақ шектес қызмет көрсету сапасы тақырыбына ерте ауып кеттік, оған біз келесі бөлімде ораламыз.

Тіпті, желі өзіне ешқандай міндеттеме алмаса да, ол трафик сипаттамаларын қол жеткізуді басқару үшін пайдалана алады. Бұл жағдайда мәселе, желінің қажет өткізгіштік қабілеттілікті және асыра жүктелусіз жұмысты қамтамасыз ету үшін қажет, виртуалды арналар санын анықтауға келіп тіреледі. Айталық, виртуалды арналар трафикті 10 Мбит/с жылдамдықпен тасымалдай алады және өткізгіштік қабілеті 10 Мбит/с, бір физикалық арнаны пайдаланады. Демек, 10 виртуалды арна кезінде асыра жүктелу қаупі жоқ, алайда әдеттегі жағдайда бұл тиімсіз, себебі барлық 10 арнаның толық күшпен жұмыс жасауы мүмкін емес. Қолданыстағы желілерде, мүмкін арналар санын анықтау үшін статистикалық деректер пайдаланылады. Сонымен, ұйғарынды тәуекелділікті өсіре отырып, желі өнімділікте ұтады.

Маршрутта «ыстық нүктені» айналып өтуге бағыттап, қол жеткізуді басқару және трафик қалып-күйін ескере отырып маршруттау принциптерін біріктіруге болады. Мысал ретінде, екі маршруттаушы асыражүктелген, 5.22-суретте көрсетілген желіні қарастырайық.

Айталық, А маршруттаушына қосылған хост, В маршруттаушына қосылған хостпен байланысқысы келеді. Қалыпты жағдайда бұл байланыс асыражүктелген маршруттауыштардың бірі арқылы жүзеге асырылар еді. Бұл жағдайды болдырмас үшін, 5.22-ә-суретінде көрсетілгендей, желі қысқартылады. Желіден асыражүктелген маршруттауыштар және олардың барлық байланыстары алынып тасталады. Үзік сызықпен, виртуалды арнаның, асыражүктелген маршруттауыштарды айналып өтетін, мүмкін деген маршруты көрсетілген. Маршруттаудың осындай, асыра жүктелуге сезімтал сипаттамасын (Shaikh және басқалар, 1999) жұмысынан табуға болады.



5.22-сурет. Желі: а – асыражүктелген; ә – желінің асыражүктелусіз бөлігі. А және В арасындағы виртуалды арна көрсетілген

5.3.4. Трафикті реттеу

Интернет желісінде және көптеген компьютерлік желілерде тасымалданатын трафик саны, желінің табысты жеткізу қабілетіне пара-пар. Бұл режимде желі,

асыра жүктемегенше жұмыс жасайды. Егер асыра жүктелу шарасыз болса, онда ол жөнелтушілерден деректерді тасымалдау жылдамдығын төмендетуді сұрайды. Мұндай кері байланыс – әдеттегі жағдай, жүйе жұмысының бір бөлігі. Бұл жұмыс режимі, **асыра жүктелуді болдырмау (congestion avoidance)** деп аталады – желі (тым) асыра жүктелген жағдайға кері жағдай.

Дейтаграммалық желілерде және виртуалды арналар желісінде қолданылатын, трафикті реттеудің бірнеше амалдарына тоқталайық. Мұндай әрбір амал екі мәселені шешуі тиіс. Біріншіден, маршруттауыштар асыра жүктелу жайлы, ол орын алғанша білулері тиіс. Ол үшін әр маршруттауыш, өзі қолданатын ресурстарды үнемі қадағалап отыруы керек. Мұнда үш нұсқа болуы мүмкін: шығыс тораптарын пайдалану, маршруттауыштың дестелер кезегін буферлеу және дұрыс буферлеу салдарынан жоғалған дестелер саны. Анағұрлым тиімдісі, екінші нұсқа. Трафик үздік-үздік болған кезде, торапты пайдаланудың орташа көрсеткіштері, нақты жағдайды бейнелемейді. Мәселен, 50% – біркелкі трафик кезінде көп емес және айнымалы трафик кезінде тым көп. Жоғалған дестелер саны тым кеш белгілі болады: дестелер асыражүктелу басталысымен жоғала бастайды.

Маршруттауыш кезегінде күту уақыты асыра жүктелудің дестелерге әсерін айқын бейнелейді. Көп жағдайда төмен болатын бұл көрсеткіш трафик өсіп, жөнелтілмеген дестелер саны өскен кезде, күрт жоғарылауы керек. Кезекте күту уақытының (d) мұндай бағасын, кезектің эп-сәттегі ұзындығы s -ті дүркін-дүркін өлшеп, қарапайым есептеулер арқасында, d айнымалысының мәнін алуға болады:

$$d_{\text{жаңа}} = \alpha d_{\text{ескі}} + (1 - \alpha)s,$$

мұнда, α -тұрақтысы, маршруттауыштың өз өткенін қаншалықты тез ұмытатындығын анықтайды. Бұл **EWMA (Exponential Weighted Moving Average – экспоненциалды салмақталған сырғымалы орташа мән)** деп аталады. Ол түрлі күлтілдеуді тегістеп, төменгі жиілік сүзбесі ретінде жұмыс жасайды. d айнымалысының мәні шекті аймақтан шыққан кезде, маршруттауыш асыра жүктелудің басталғанын біледі.

Екінші мәселе, маршруттауыштар трафигі асыра жүктелуге әкелген жөнелтушілерге, кері байланыс мәлімдемесін уақытылы жеткізулері керек. Асыра жүктелу желі ішінде орын алса да, оны жою желіні пайдаланатын жөнелтушілердің қатысуын қажет етеді. Кері байланыс мәлімдемесін жеткізу үшін, маршруттауыш сәйкес жөнелтушіні анықтауы керек. Сонан кейін ол, онсыз да асыра жүктелген желіге десте жібермей, оларға ақырын ескерту жасауы тиіс. Әртүрлі алгоритмдер, әртүрлі кері байланыс механизмін пайдаланады. Ары қарай осы алгоритмдер жайлы айтамыз.

Тежеуші десте

Жөнелтушіге асыра жүктелу жайлы хабарлаудың ең қарапайым тәсілі – ол жайлы тікелей айту. Мұндай тәсілдемеде маршруттауыш асыра жүктелген дестені

алып, жөнелтушіге **тежеуіш десте (choke packet)** жөнелтеді. Жөнелтуші жайлы ақпарат ұсталған дестеден алынады. Бастапқы дестеге, жол бойы басқа тежеуіш дестені туындатпас үшін, таңба басылып (оның тақырыбындағы арнайы битке 1 жазылады), ары қарай маршрут бойынша жөнелтіледі. Асыра жүктелу кезінде желіге түсетін жүктеменің өсуін болдырмас үшін маршруттауыш тежеуіш дестені тек төменгі жылдамдықпен жөнелтеді.

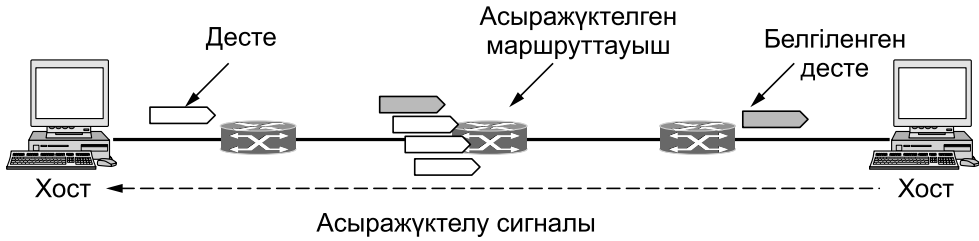
Хост-жөнелтуші тежеуіш дестені алған кезде, көрсетілген қабылдаушыға трафикті төмендетуі тиіс, мысалы, 50%-ға. Дейтаграммалық желіде кездейсоқ дестені таңдау, ең бастысы, тежеуіш десте ең жылдам жөнелтушілерге жетеді, себебі, кезектің үлкен бөлігін дәл осы жөнелтушілердің дестелері құрайды. Осындай, анық емес кері байланыс, іс-әрекеттері ешқандай мәселе тудырмайтын жөнелтушілерді қозғамай, асыражүктелуді болдырмауға мүмкіндік береді. Дәл осы себептен, көптеген тежеуіш дестелердің, қажет хост пен адреске жөнелтілу ықтималдығы жоғары. Белгілі бір уақыт кезеңінен кейін – трафик кемуі әсер еткенше – хост қосымша дестелерді назарға алмайды. Белгіленген уақыт өткенен кейін, жаңа тежеуіш дестелер желінің әлі де асыра жүктелгендігін хабарлайды.

Ертедегі Интернет желісінде пайдаланылған тежеуіш дестенің мысалы, SOURCE QUENCH мәлімдемесі (Postel, 1981). Оның ұласып кетпеген себебі, таратудың шарттары мен нәтижесі нақты түрде анықталмаған еді. Қазір Интернет желісінде ескертудің басқа схемасы пайдаланылады. Біз ол жайлы алда айтамыз.

Асыражүктелу жайлы анық ескерту

Қосымша десте құрастыру орнына, маршруттауыштар кез келген жөнелтілетін дестеге, арнайы таңба қосып (мысалы, 1 немесе 0), асыра жүктелу жайлы хабарлай алады. Десте жеткізілген кезде, қабылдаушы желінің асыра жүктелгені жайлы біледі және осы ақпаратты жауап дестесіне қосады. Бұдан кейін жөнелтуші, бұрынғыдай өз трафигін реттейді.

Бұл тәсіл **асыра жүктелу жайлы анық ескерту (ECN – Explicit Congestion Notification)** деп аталады және Интернет желісінде қолданылады (Ramakrishnan, 1988). Бұл ертедегі ескерту хаттамасының жақсартылған нұсқасы, соның ішінде, DECNET құрылымында пайдаланылған бинарлық кері байланыс схемасының (Ramakrishnan және Jain, 1988). Десте тақырыбында асыра жүктелу жайлы ақпаратқа екі бит орын беріледі. Жөнелтілу кезінде дестеде белгі жоқ (5.23-сурет). Асыра жүктелген маршруттауыш арқылы өткен кезде, десте асыра жүктелу жайлы таңба алады. Бұдан кейін қабылдаушы хабарды, жауап дестесіне асыра жүктелу жайлы анық ескертпе қосып, жөнелтушіге жібереді. Суретте бұл үрдіс, IP-деңгейден жоғары (мысалы, TCP деңгейінде) орын алатындығын көрсету үшін үзік сызық арқылы бейнеленген. Ары қарай, тежегіш десте жағдайындағыдай, жөнелтуші трафикті реттуі керек.



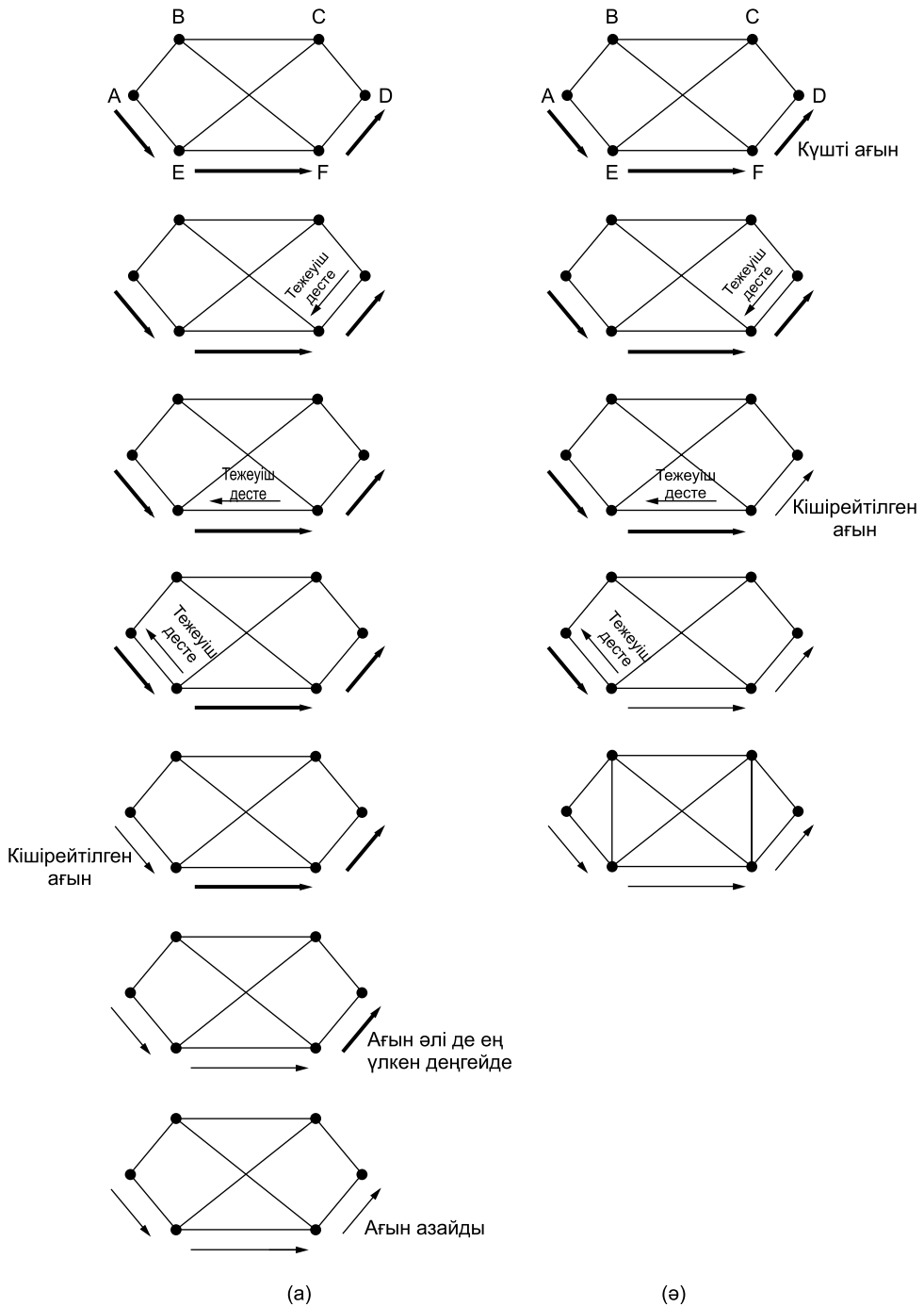
5.23-сурет. Асыражүктелу жайлы анық ескерту

Ретрансляциялық аумақтарға кері қысым

Деректер жоғары жылдамдықпен тасымалданған кезде немесе хосттар тым қашық болған кезде көптеген жаңа дестелер, тіпті асыра жүктелу жайлы ескерту жіберілгеннен кейін де жөнелтілуі мүмкін. Себебі ескертуге реакция біраз уақыт алады. Мысалы, Нью-Йоркта орналасқан хостқа, ОС-3 155 Мбит/с жылдамдықпен деректер жөнелткен (5.24-суретте D маршруттауышы), Сан-Францискодағы хостты қарастырайық (5.24-суреттегі А маршруттауышы). Егер Нью-Йорктағы хосттың буферлік жадысы аяқтала бастаса, тежеуіш дестеге қайтадан Сан-Францискоға жетіп, трафик көлемін төмендету керек екендігі жайлы хабарлау үшін 40 мс қажет болады. Асыра жүктелу жайлы анық ескерту бұдан да көп уақыт алады, себебі оны қабылдаушы арқылы жетеді. Тежеуіш дестені тарату 5.24 а-суретінің екінші, үшінші және төртінші диаграммаларында көрсетілген. Десте желі бойымен қозғалатын 40 мс ішінде, Нью-Йорктағы маршруттауышқа тағы да 6,2 Мбит/с деректер жөнелтіледі. Бұл деректерге де ие болу керек болады. Тек жетінші диаграммада (5.24 а-суреті) маршруттауыш ағынның төмендегенін байқайды.

Алайда бұл мәселемен күресуге мүмкіндік беретін, балама таңдау бар. Оның мәні тежеуіш десте жүріп өткен әр маршруттауыштың трафигіне әсер етеді. Бұл 5.24 б-суретіндегі диаграммалар тізбегінде көрсетілген. Тежеуіш десте F нүктесіне жеткен кезде, F -тен D бағытына қарай деректер ағыны азаюы тиіс. Сөйтіп, F байланыс үшін үлкен буферлік жадыны қорда сақтайды: ақпарат көздері бұл бағытты әлі де өз деректерімен толтыра береді. Теледидар арқылы ғажайып әсері бар дәрі жарнамасындағы азап шегушінің бас ауруындай, D -ға жүктеме бірден басылады. Келесі қадамда, тежеуіш десте жолын жалғастыра отырып, E -ге жетеді де F бағытында ағынды төмендету жайлы бұйрық береді. Нәтижесінде, қандай да бір уақыт аралығында, E -ге жоғары жүктемеге шыдау керек болады, ал F нүктесі өз ауыртпалығынан бірден құтылады. Соңында, тежеуіш дестенің жеңімпаз маршы оны барлық мәселе көзіне – A нүктесіне әкеледі, енді ағын шын мәнінде азайады.

Трафикті тежеу тәсілінің ретрансляциялық аумақтарға пайдалану нәтижесі, асыра жүктелуді ең ыстық нүктеде аралық маршруттауыштардың үлкен көлемдегі буферлік жадысын пайдалана отырып, неғұрлым жылдам жою. Сонымен, асыра жүктелу дестелерді жоғалтпай тоқтатылады. Бұл мәселе толығырақ (Mishra, 1996) басылымында талқыланады.



5.24-сурет. Тежеуіш десте тек мәселе көзіне әсер етеді (а); Тежеуіш десте барлық аралық аумақтарға әсер етеді (ә)

5.3.5. Жүктемені түсіру

Жоғарыда қарастырылған тәсілдердің ешқайсысы көмектеспеген кезде, маршруттауыштар ұрысқа ауыр артиллерияны шығаруы мүмкін – жүктемені түсіру. **Жүктемені түсіру** деп маршруттауыштардың өндей алмаған дестелерді ескермеуі айтылады. Бұл термин өзінің пайда болуына, асыра жүктелу кезінде бүкіл жүйе істен шықпас үшін, жеке аумақтарды өшіріп тастайтын, электр жабдықтау жүйелеріне қарыздар. Әдетте, мұндай жағдай, электр энергиясына деген сұраныс ұсыныстан бірнеше есе артатын ыстық жаз күндері болады.

Дестелермен басылып қалған маршруттауыш үшін басты мәселе, қабылданбайтын дестелерді таңдау. Таңдау, желіні пайдаланатын қосымшалар түріне байланысты. Файлды тасымалдау үшін ескі десте жаңаға қарағанда бағалырақ. Себебі, қабылданбай қалған нөмір 6 дестені және мысалы, нөмірлері 7-ден 10-ға дейінгі дестелерді сақтау қабылдаушыны артық жұмыс жасауға мәжбүрлейді: өзі әлі пайдалана алмайтын дестелерді буферге орналастыру. Нақты уақытта жұмыс жасайтын мультимедиялық қосымшалар үшін, керісінше жаңа десте ескіден бағалы. Себеб, дестелер кідіріп уақытылы келмесе, олар керексіз болып қалады.

Бірінші стратегияны (ескі жаңадан жақсы) жиі шарап стратегиясы деп, ал екіншіні (жаңа ескіден жақсы) – сүт стратегиясы дейді, себебі көптеген адамдар жаңа сауылған сүт пен көп тұрған шарап ішкенді ұнатады, керісінше емес.

Жүктемені түсірудің дұрыс алгоритмі жөнелтушінің қатысуын талап етеді. Мысал ретінде, маршруттау жайлы мәліметтерден тұратын дестені қарастыруға болады. Бұл дестелер, маршрутты тағайындайтын болғандықтан, қарапайым дестелерге қарағанда маңыздырақ. Басқа, мысал – дүркін-дүркін толық кадр жөнелтетін, ал келесілері соңғы толық кадрдың өзгеру картасы болып келетін, видеосигналды (JPEG) тығыздату алгоритмі. Бұл жағдайда, айырмашылық сигналдан тұратын дестені жоғалту толық кадрды жоғалатудан қорқынышты емес, себебі соңғы кадрлар толық кадрға тәуелді.

Ақпарат бөлігін қабылдамау интеллектуалдық стратегиясын жүзеге асыру үшін қосымшалар өз дестелерін, желіге оның маңызды екенін хабарлап, таңба қоюлары керек. Сонда маршруттауыштар алдымен маңыздылығы төмен класс дестелерін қабылдамай тастайды, содан кейін келесі класты және т.с.с.

Әрине, ынталандыру жоқ болса, барлығы өз дестелерін **ӨТЕ МАҢЫЗДЫ – ЕШ ЖАҒДАЙДА ТАСТАМАҢЫЗ** деп белгілейді. Мұндай белгілерді анықталмаған пайдалануларды болдырмау көбіне желі ресурстары және ақшалай қаражат арқылы жүзеге асырылады. Мысалы, егер желі жөнелтушілерге төменгі басымдылықпен белгіленген дестелерді қызмет көрсету келісім шартында көрсетілген жылдамдықтан үлкен жылдамдықпен тасамалдауға рұқсат етсе. Мұндай стратегия әлдеқайда табысты, себебі бос ресурстар хосттарға ешкімге кедергі жасамаған кезде өздерін тиімді пайдалануға рұқсат береді, бірақ бұл құқықты оларға бекітпейді.

Кездейсоқ ерте анықтау

Асыражүктелумен, ол дамып шекті нүктеге жеткен кезде емес, бастапқы кезде күрескен әлдеқайда жеңіл. Бұл ой дестелерді қабылдамау, буфер кеңістігі өңделмеген дестелермен толғаннан әлдеқайда ертеректе орын алатын, жүктемені түсіру түрлендіруіне әкеледі.

Бұл ой маңыздылығының себебі, көптеген интернет хосттар асыра жүктелу жайлы анық ескерту арқылы біледі. Іс жүзінде, асыра жүктелу жайлы жалғыз рас сингал – дестенің жоғалуы. Асыра жүктелу кезінде дестені жойып жібермейтін маршруттауыш ойлап табу қиын. TCP тәрізді транспорттық хаттамалардың асыра жүктелу кезінде дестелердің жоғалуына реакциясы, жауап ретінде ақпарат көзі трафигін төмендету. Бұл логиканың негізі – TCP өте сенімді болып саналатын және дестенің жоғалуы, тасымалдау қателігі емес, көбіне буфердің асыра толғаны жайлы сигнал беретін сымды желілерге арналған хаттама. TCP тиімді жұмыс жасау үшін сымсыз байланыс тораптары арна деңгейіндегі тасымалдау қателіктерімен күресе білуі керек (желілік деңгейде олар білінбейтіндей).

Асыра жүктелуді азайту үшін осы жағдай пайдаланылады. Егер маршруттауышты, жағдай үмітсіз қиындағанша күтпей, дестелерді алдын ала әдейі жоғалтуға мәжбүрлесе, онда ақпарат көзі қандай да бір шара қолданатын уақыт қалады. Осы ойды жүзеге асыратын, танымал алгоритм **кездейсоқ ерте анықтау (RED – Random Early Detection)** деп аталады (Floyd және Jacobson, 1993). Қай кезде дестелерді әдейі жоғалта бастау шарттарын анықтау үшін маршруттауыштар өз кезектерінің жылжымалы орташа ұзындығын есептейді. Қандай да бір байланыста кезектің орташа ұзындығы шекті мәннен асқан кезде, бұл байланыс асыра жүктелген деп хабарланып, дестелердің кішкене бөлігі кездейсоқ жойылады. Дестелерді кездейсоқ таңдау, жылдам жөнелтушілердің десте жоғалғанын тез анықтау ықтималдығын арттырады. Бұл нұсқа ең жақсы болып саналады, себебі маршруттауыш, дейтаграммалық желіде қай ақпарат көзі көптеген мәселенің себепкері екенін білмейді. Жөнелтушілер дестенің жоғалғанын ешбір ескертусіз-ақ байқайды. Бұдан кейін, транспорттық хаттама жұмысын баяулатады. Сонымен жоғалған десте, тежеуіш десте беретін ақпаратты береді, бірақ анық емес түрде, яғни маршруттауыштар асыра жүктелу жайлы нақты сигнал жөнелтпейді.

Кездейсоқ ерте анықтауды пайдаланатын маршруттауыштар, дестелерді буфер толғанда жоятын маршруттауыштар алдында өнімділіктен ұтады. Бірақ кейде олар да дұрыс баптауды қажет етеді. Мысалы, жойылатын дестелердің тиімді саны асыра жүктелу жайлы хабарлауды қажет ететін жөнелтушілер санына тәуелді. Алайда, мүмкіндігінше асыра жүктелу жайлы анық ескертуді пайдаланған дұрыс. Олар дәл осылай жұмыс жасайды, бірақ мәлімдемені, дестені жоғалту арқылы жанама түрде емес, анық түрде береді. Кездейсоқ ерте анықтау, хосттар анық ескертуді қолданғысы келмеген жағдайда пайдаланылады.

5.4. ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ САПАСЫ

Біз жоғарыда қарастырған тәсілдер, деректер тасымалдау желісінде асыра жүктелуді азайтып, өнімділікті жоғарылату үшін пайдаланылады. Алайда, кейбір қосымшалар (клиенттер) желіден, «берілген жағдайдағы мүмкін деген ең жақсысы» дегенді емес, қатаң өнімділік кепілін талап етеді. Жеке алғанда, мультимедиалық қосымшалар жұмысы үшін, ең кіші өткізгіштік қабілеттілік және ең жоғары кідіріс уақыты қажет. Бұл бөлімде, біз желі өнімділігі параметрлерін қарастыруды жалғастырамыз, бірақ нақты қосымшалардың талабына сәйкес келетін, жоғары қызмет көрсету сапасын қамтамасыз ететін мәселелерге аса көңіл бөлеміз. Бұл, қазіргі кезде Интернет шапшаң дамып келе жатқан аумақ.

Жоғары қызмет көрсету сапасын ұсынудың қарапайым шешімі – өткізгіштік қабілеті кез келген көлемдегі трафикті жөнелтуге мүмкіндік беретін желі құрастыру. Бұл тәсіл **молшылық қамтамасыз ету (overprovisioning)** деп аталады. Мұндай желі қосымша трафигін, елеулі кемшіліктерсіз жүзеге асырады, ал десте маршрутының жақсы схемасы болған жағдайда, дестелер ең төмен кідіріспен жеткізіледі. Бұл алгоритмнің артықшылығы, өнімділік тұрғысынан осымен шектеледі. Телефон желісі молшылық қамтамасыз ету жүйесі деп айтуға болады. Сіз телефон трубкасын көтеріп, гудок естімейтін жағдай өте сирек болады. Себебі, жүйеде өте үлкен өткізгіштік қабілеттілік енгізілген, одан асып кету өте қиын.

Мұнда мәселе біреу: бұл шешім өте қымбатқа түседі. Іс жүзінде, мәселе қаржылық шығын арқасында оңай шешіледі. Сапалы қызмет көрсету механизмінің арқасында өткізгіштік қабілеттілігі төмен желі, қосымшалар талабын аз шығынмен қамтамасыз ете алады. Одан бетер, молшылық қамтамасыз ету, күтілетін трафик жайлы мәліметке негізделеді. Егер нақты трафик схемасының болжаудан айырмашылығы елеулі болса, жағдай түбегейлі өзгереді. Сапалы қызмет көрсету механизмінің арқасында, трафик көлемі күрт өзгерген жағдайда да, кейбір сұраныстарды қабылдамау арқылы желі өз міндеттемесін орындай алады.

Қызмет көрсету сапасын қамтамасыз ету үшін келесі сұрақтарға назар аудару керек:

1. Қосымшаларға желіден не қажет?
2. Желіге келіп түскен трафикті қалай реттеу керек?
3. Өнімділікті қамтамасыз ету үшін, маршруттауыштар ресурсын қалай қорда ұстау керек?
4. Желі үлкен көлемдегі трафикті қабылдай ала ма?

Ешбір тәсіл бұл мәселенің барлығын тиімді шеше алмайды. Сондықтан желілік (және транспорттық) деңгей үшін әртүрлі тәсілдер қарастырылған. Іс жүзінде, қызмет көрсету сапасын қамтамасыз ету үшін олардың комбинациясы пайдаланылады. Сондықтан біз Интернет желісінде қолданылатын екі нұсқаны қарастырамыз: интегралды және дифференциалды қызмет көрсету.

5.4.1. Қосымшалар талабы

Ақпарат көзінен қабылдаушыға тасымалданатын дестелер тізбегі ағын (flow) деп аталады (Clark, 1988). Байланысқа бағытталған желілерде, ағын байланыстың барлық дестелерінен тұруы мүмкін, ал байланысқа бағытталмаған желіде – бір үрдістен екіншісіне жөнелтілген барлық дестелер. Әр ағынға, келесідей төрт негізгі параметрмен сипаттауға болатын, белгілі бір шарттар қажет: өткізгіштік қабілеттілік, кідіріс, күлтілдеу (флуктуация) және ысырап. Бұның барлығы бірігіп, ағынға қажет қызмет көрсету сапасын (QoS – Quality of Service) құрайды.

Кейбір жиі пайдаланылатын қосымшалар және олардың желіге деген талабы 5.2-кестеде келтірілген. Желіге деген талаптың қосымшаға деген талапқа қарағанда қатаң емес екенін атап айту керек. Кейбір жағдайда қосымшалар, желі ұсынған қызмет көрсету сапасын өздері жақсарты алады. Жеке алғанда, файлдарды сенімді түрде жөнелту үшін желі ысырапсыз жұмыс жасауы міндетті емес. Сонымен бірге, кідіріс уақыты аудио және видеодестелер тасымалданғанда бірдей болуы тиіс. Қайталап жөнелту арқылы ысырап орнын толтыруға болады, ал күлтілдеуді тегістеу үшін дестелерді қабылдаушы буферінде сақтауға болады. Бірақ тым төмен өткізгіштік қабілеттілікте немесе тым ұзақ кідіріс кезінде қосымшалар шарасыз болады.

5.2-кесте

Кейбір қосымшалардың қызмет көрсету сапасына қатаңдығы

Қосымшалар	Өткізгіштік қабілеттік (bandwidth)	Кідіріс (delay)	Күлтеулік (jitter)	Ысырап (loss)
Электронды пошта	Төмен	Төмен	Әлсіз	Орташа
Файлдарды тасымалдау	Жоғары	Төмен	Әлсіз	Орташа
Веб-қол жеткізу	Орташа	Орташа	Әлсіз	Орташа
Қашықтықтан қол жеткізу	Төмен	Орташа	Орташа	Орташа
Сұраныс бойынша аудио	Төмен	Төмен	Күшті	Төмен
Сұраныс бойынша видео	Жоғары	Төмен	Күшті	Төмен
Телефония	Төмен	Жоғары	Күшті	Төмен
Видеоконференция	Жоғары	Жоғары	Күшті	Төмен

Қосымшалардың өткізгіштік қабілеттілікке деген талабы әртүрлі болуы мүмкін: электронды пошта, түрлі форматтағы аудио және қашықтықтан қол жеткізу үшін кішігірім өткізгіштік қабілеттілік жеткілікті. Ал, файлдар тасымалдау және түрлі форматтағы видео үлкен өткізгіштік қабілеттілігі қажет етеді.

Кідіріспен жағдай басқаша. Файлдар тасымалдаумен айналысатын қосымшалар, электронды пошта не видеоны қоса алғанда, кіріріске сезімтал

емес. Тіпті, егер барлық дестелер бірнеше секунд кідіріспен жеткізілсе де, ештеңе болмайды. Алайда интерактивті қосымшалар – мысалы, веб-қол жеткізуді немесе қашықтықтан қол жеткізуді қамтамасыз ететін – кідіріске әлдеқайда сезімтал келеді. Нақты уақыт масштабында жұмыс жасайтын қосымшалардың кідіріске деген талабы өте қатаң. Егер телефонмен сөйлесу кезінде әңгімелесушінің сөзі үлкен кідіріспен келетін болса, тұтынушылар мұндай байланысты қолайсыз деп шешеді. Екінші жағынан, серверде сақталған видео- және аудиофайлдарды ойнату кезінде кішігірім кідірістің болғаны еш әсер етпейді.

Кідіріс уақытының толқуы (стандартты ауытқу) немесе десте келген уақыт **күлтілдеу (jitter – флуктуация)** деп аталады. Алғашқы үш қосымша (5.2-кестені қара) дестелердің тегіс емес кідірісіне сабырмен қарайды. Ал, қашықтықтан қол жеткізуді ұйымдастырған кезде бұл фактордың мәні зор, себебі, қатты күлтілдеу кезінде экрандағы жаңартулар секіріп пайда болады. Видео- және әсіресе, аудио- деректер күлтілдеуге өте сезімтал. Егер тұтынушы компьютеріне желі арқылы жеткізілетін видеоны қарап отырса және барлық кадрлар дәл 2,000 с кідіріспен келсе, онда бәрі ойдағыдай. Алайда, егер тасымалдау уақыты бір секунд пен екі секунд аралығында тербелсе және қосымша күлтілдеуді жасыра алмаса, нәтиже тым нашар болады. Дыбыс жазбасын тыңдау кезінде тіпті бірнеше миллисекунд күлтілдеу елеулі болады.

Алғашқы төрт қосымша ысырапқа жоғары талап қояды, себебі, аудио және видео файлдарға қарағанда, оларға ақпараттың әр биті маңызды. Әдетте бұл талап транспорттық деңгейде жоғалған дестелерді қайта жөнелту арқылы жүзеге асырылады. Алайда, бұл тиімсіз: жоғалып кететін дестелерді желінің қабылдамағаны дұрыс болар еді. Аудио- және видеокосымшалар үшін дестенің жоғалуы, көбіне қайта жөнелтуді қажет етпейді. Қысқа үзіліс және қалып қойған кадрлар тұтынушыға байқалмай қалады.

Түрлі қосымшалардың талабын қанағаттандыру үшін желі түрлі қызмет сапасын ұсынуы мүмкін. Маңызды мысал – бір кезде болашағы зор деп саналған, ал қазір артта қалған, АТМ желісінде пайдаланылатын технология. АТМ желілері мынаны қолдайды:

1. Тұрақты биттік жылдамдық (мысалы, телефония).
2. Нақты уақытта айнымалы биттік жылдамдық (мысалы, видеоконференция кезінде тығыздалған видеожазбалар).
3. Нақты уақыттан тыс айнымалы биттік жылдамдық (мысалы, сұраныс бойынша фильм көру).
4. Қолжетімді биттік жылдамдық (мысалы, файл тасымалдау).

Осылайша категорияларға бөлу, басқа мақсаттар және желілер үшін де пайдалы болуы мүмкін. Тұрақты биттік жылдамдық – бұл, бекітілген өткізгіштік қабілеттік және кідіріс ұсыну арқылы, сымды желіні модельдеуге талпыну. Биттік жылдамдық айнымалы болуы мүмкін, мысалы, тығыздалған видеоны тасымалдау, кейбір кадрды басқасына қарағанда үлкен дәрежеде тығыздауға болады. Көптеген түрлі-түсті деталдардан тұратын кадр нашар тығыздалады және оны тасымал-

дау үшін көптеген биттер жұмсау керек болады, ал ақ қабырғаны түсіріп алған кадр өте жақсы тығыздалады. Сұраныс бойынша фильмдер, іс жүзінде нақты уақытта ойналады: жиірек, видеожазбаның бірнеше секунд ойналуда алдында жеткізіліп, буферде сақталады, сондықтан күлтілдеу қабылданып, бірақ қалпына келтірілмеген видео көлемінің толқынысына әкеледі. Электронды пошта тәрізді қосымшаларға қандай да бір биттік жылдамдықтың болғаны өте маңызды. Олар күлтілдеу мен кідіріске сезімтал емес, сондықтан бұл қосымшаларға «қолжетімді биттік жылдамдық» қажет дейді.

5.4.2. Трафикті құрастыру

Тұтынушыға қандай да бір қызмет сапасынна кепілдік бермес бұрын желі трафиктің шамалы көлемін білуі тиіс. Телефон желілерінде оны бағалау жеңіл: әдеттегі қоңырау (тығыздалмаған форматта) 64 Кбит/с жылдамдықты және әр 125 мкс сайын бір 8-биттік есептеуді қажет етеді. Алайда, бұл желілерде трафик **тегіс емес (bursty)** болып келеді. Трафик үш себептен тегіс болмауы мүмкін: трафик жылдамдығы тұрақсыз (мысалы, тығыздалуы бар видеоконференцияларда), қосымша мен тұтынушының әрекеттесуі (мысалы, жаңа веб-парақты қарау) және компьютерді есептер арасында ауыстырып отыру. Тегіс емес трафикпен жұмыс жасау, тегіс трафикке қарағанда әлдеқайда қиын, себебі мұнда буфер асыра толып, дестелер жоғалуы мүмкін.

Трафикті құрастыру (traffic shaping) – орташы жылдамдықты және кіріс деректер ағынын тегістеу әдісі. Қосымшалар өздеріне қажет трафикті жөнелте алулары керек (тегіс еместі қоса). Сонымен бірге, мүмкін болатын трафик схемасын сипаттайтын, қарапайым және ыңғайлы тәсіл қажет. Ағын орнатылған кезде тұтынушы және желі (яғни, клиент және байланыс операторы) нақты осы трафик үшін белгілі бір схема жайлы келіседі (яғни, форма). Нәтижесінде клиент интернет-провайдерге: «Менің тасымалдау трафигім келесідей болады. Сіз оны қамтамасыз ете аласыз ба?» – дейді.

Кейде мұндай келісім **қызмет көрсету деңгейі жайлы келісім (SLA – Service Level Agreement)** деп аталады, әсіресе, егер онда кешенді ағындар және ұзақ уақыт кезеңдері (мысалы, бүкіл трафик осы тұтынушы үшін) айтылатын болса. Клиент өзіне қатысты шарттарды орындап, дестелерді трафик келісімшартта айтылғандай жіберіп тұрғанда, интернет-провайдер оларды анықталған мерзімде жеткізуге міндеттеледі.

Трафикті құрастыру желіге жүктемені азайтады, сөйтіп желіге өз міндетін орындауға көмектеседі. Алайда, бұл жұмыс жасау үшін интернет-провайдер тұтынушының өз келісімді сақтап отырғанын қалай біледі, және клиент шартты бұзған кезде не жасауы керек. Жөнелтуі келісімшарт шеңберіне шығып кеткен десте жойылуы немесе төмен басымдылықты деп таңбаланады. Трафик ағынын бақылау **трафик саясаты (traffic policing)** деп аталады.

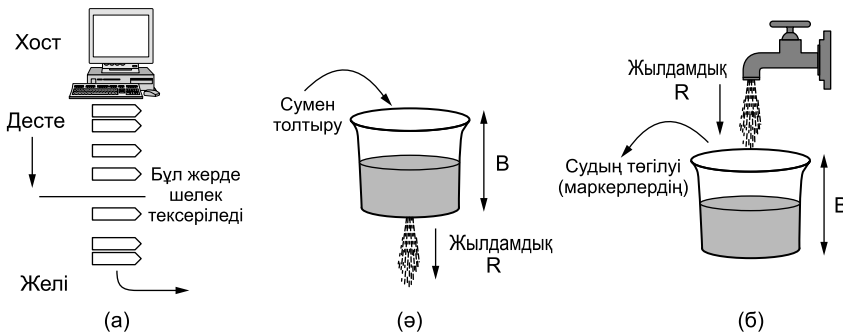
Трафикті құрастыру және трафик саясаты бүкіл өткізгіштік қабілеттілік пай-

даланылатын, тең рангілі тасымалдау және тасымалдаудың басқа түрлері үшін маңызды емес. Алайда, оның, қызмет көрсету сапасына қатаң талап қоятын, нақты уақытта тасымалданатын деректер үшін маңызы зор (мысалы, аудио- және видео-сигналдар тасымалдау үшін байланысқанда).

Тесік және маркерлі шелек алгоритмі

Біз қосымшалар жөнелтетін көлемді шектеудің бір әдісімен таныспыз – жылжымалы терезе. Бұл тәсіл белгілі бір уақыт аралығында тасымалданатын деректерді шектеудің бір параметрін пайдаланады және жанама түрде жылдамдықты шектейді. Біз енді трафикті сипаттаудың жалпы тәсілдерін бет бұрып, тесік және маркерлі шелек алгоритмдерін қарастырамыз. Бұл екі алгоритмнің бір-бірінен айырмашылығы болғанымен, олардың нәтижесі бірдей.

Өзіңізге 5.25 *ә-суретінде* көрсетілгендей, түбінде кішкене тесігі бар шелекті елестетіңіз. Шелекке құйылып жатқан су жылдамдығына қарамастан, шелекте су болған кезде шығыс ағынның тұрақты R жылдамдығы және шелекте су жоқта нөл жылдамдығы бар. Сонымен бірге, шелек суға толып, су бүкіл B көлемді алған кезде, су сыртқа ағып жоғалады.

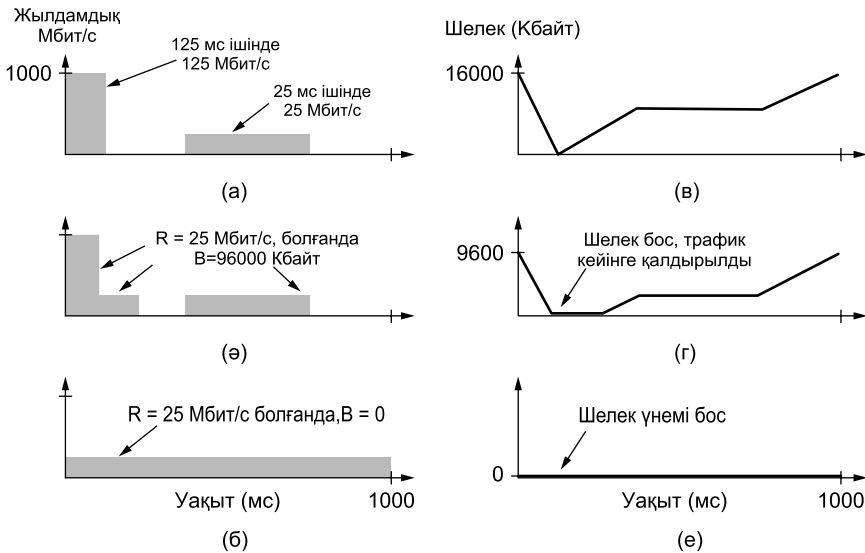


5.25-сурет. Тесік және маркерлі шелек алгоритмі: а – дестелерді құрастыру; ә – тесік шелек; б – маркерлі шелек

Осындай шелек көмегімен, желіге келетін дестелерді құрастырып, ретке келтіруге болады (5.25 *а-суреті*). Принцип мынадай: әрбір хост желімен тесік шелек интерфейс арқылы байланысады. Дестені желіге жөнелту үшін, шелекте су құятын орын болуы керек. Егер десте келген кезде шелек толып кетсе, десте шелекте жеткілікті орын босағанша кезекке тұрады, немесе қабылданбайды. Бірінші нұсқа, трафик хостың операциялық жүйесімен құрастырылған жағдайда кездеседі. Екінші нұсқа, желіге келіп түскен трафикті, интернет-провайдердің желілік интерфейсіндегі аппараттық құрылғылары тексеретін кезде орын алады. Бұл тәсілді Тернер (Turner, 1986) ұсынған болатын және **тесік шелек алгоритмі (leaky bucket algorithm)** деп аталады.

Дәл осыны басқаша елестетуге болады: осы кезде толтырылып жатқан шелек ретінде (5.25 б-суреті). Су краннан R жылдамдықпен ағады, ал шелек көлемі, алдыңғы жағдайдағыдай B -ға тең. Дестені жөнелту үшін шелектегі суды немесе маркерлерді (әдетте, шелектің ішіндегісі), құю емес, төгіп тастау мүмкін болу керек. Шелектегі маркерлер саны шектеулі ғана болуы тиіс (B -дан көп емес), егер шелек бос болса, басқа маркерлер пайда болғанша, дестені жөнелтпей күте тұру керек. Бұл алгоритм **маркерлі шелек алгоритмі (token bucket algorithm)** деп аталады.

Тесік және маркерлі шелек, жасанды кідіріссіз, трафиктің қысқа уақыттың қарбалас кезін жіберіп (ең үлкен мәнмен шектелген), ағынның тұрақты жылдамдығын шектеп отырады. Желіге жүктемені азайту үшін, трафик шейпері (құрастырушы) ірі шындрды тегістейді. Мысал ретінде, компьютер деректерді 1000 Мбит/с (секундына 125 млн. байт) жылдамдықпен өндіреді делік және желінің бірінші байланысы да осы жылдамдықпен жұмыс жасайды. Хост 5.26 а-суретінде көрсетілген трафик схемасын генерациялайды. Бұл схема тегіс емес. Хост, қарбалас кездегі трафик көлемі 16 000 Кбайтты ең үлкен 1000 Мбит/с (1/8 секундта) жылдамдықпен жөнелтсе де, орташа жылдамдық 200 Мбит/с құрайды.



5.26-сурет. Схема: а – хост жөнелтетін трафик; ә – маркерлі шелек көмегімен құрастырылған, жылдамдығы 200 Мбит/с және көлемі 9600 Кбайт шығыс трафигі; б – 0 Кбайт; в – жылдамдығы 200 Мбит/с және көлемі 16 000 Кбайт трафикті құрастыру кезіндегі маркерлік шелек деңгейі; г – 9600 Кбайт; д – 0 Кбайт

Енді, маршруттауыштар деректерді ең үлкен жылдамдықпен тек кішкене уақыт аралығында, буфер толғанша қабылдай алады делік. Буфер көлемі 9600 Кбайтты құрайды, бұл қарбалас кездегі трафик көлемінен аз. Үлкен уақыт аралығында,

егер жылдамдық 200 Мбит/с аспаса (себебі, нақты осы өткізгіштік қабілеттілік тұтынушымен келісімде көрсетілген), маршруттауыштар жақсы жұмыс жасайды. Бұдан, егер тасымалдау үшін осы схема пайдаланылса, онда трафиктің бір бөлігі, маршруттауыш буферіне сыймағандықтан жойылады дегенді байқауға болады.

Дестелер жоғалуын болдырмас үшін, трафикті хоста, маркерлі шелек әдісі бойынша құрастыруға болады. Егер жылдамдық $R=200$ Мбит/с, ал көлем $V=9600$ Кбайт болса, онда трафик желі мүмкіндігінің шекарасына түседі. Осындай маркерлі шелек трафигі 5.26 а-суретінде көрсетілген. Хост трафикті ең үлкен 1000 Мбит/с жылдамдықпен аз уақыт аралығында, шелек босағанша жөнелте алады. Сонан кейін ол жылдамдықты 200 Мбит/с дейін төмендетіп, трафиктің қалған бөлігін жөнелту керек болады. Идея, қарбалас кездегі трафикті (дестелер бумасын) жөнелтуді созу, егер желі оны бір қабылдауда өңдей алмаса. Маркерлі шелек деңгейі 5.26 б-суретінде көрсетілген. Бастапқыда шелек толы, бірақ трафиктің бірінші бөлігінен кейін ол бос болады. Деңгей нөлге жеткен кезде, жаңа дестелер тек буфер толатын жылдамдықпен тасымалданады. Шелек қайта толғанша, үлкен көлемдегі трафикті жөнелту мүмкін емес. Трафик түспеген кезде, шелек біртіндеп толады, ал деректер шелектің толу жылдамдығымен келгенше ол бос болады.

Трафик тегіс болу үшін оны құрастыруға болады. 5.26 б-суретінде маркерлі шелектің жылдамдығы 200 Мбит/с және көлемі 0, шығыс трафигі көрсетілген. Бұл шекті жағдай – трафик толығымен тегістелген. Ірі бумалар қабылданбайды, трафик тұрақты жылдамдықпен келеді. Шелектегі су деңгейі сәйкесінше нөлге тең (5.26 в-сурет). Трафик хост кезегіне тұрады және уақыттың әр сәтінде қандай да бір десте жөнелтуді күтеді.

Соңында, 5.26 г-суретінде, жылдамдығы $R=200$ Мбит/с, ал көлем $V=16\ 000$ Кбайт маркерлі шелек деңгейі көрсетілген. Бұл – трафик ешбір өзгеріссіз өтетін, ең кіші маркерлі шелек. Мұндай шелекті маршруттауыш, хостқа жөнелтілетін, трафикті тексеру үшін қолдана алады. Мұндай шелекті желінің бір басына орналастыруға болады. Егер трафик қызмет көрсету келісімінде айтылған маркерлік шелекке сәйкес келсе, онда ол ол арқылы өте алады. Егер, хост деректерді тым жылдам немесе біркелкі емес жөнелтетін болса, маркерлік шелектегі су бітеді де, желі трафиктің келісім шартына сәйкес келмейтінін біледі. Бұдан кейін желі конфигурациясына байланысты артық дестелер жойылады немесе төмен басымдылық ретінде белгіленеді. Біздің мысалымызда шелек тек аз уақытқа босайды – үлкен көлемде трафик алғаннан кейін. Бұдан кейін ол қалпына келіп, қайта трафик қабылдауға дайындалады.

Тесік шелек және маркерлі шелекті іске асыру өте қарапайым. Маркерлі шелектің іс жүзінде қалай жұмыс жасайтынын қарастырайық. Біз ағатын және құйылатын су жайлы көп айтқанымызбен, іс жүзінде желі дискретті шамамен жұмыс жасайтынын білу керек. Маркерлі шелек алгоритмін жүзеге асыру, маркерді санайтын айнымалыны қажет етеді. Санауыш $R/\Delta T$ -ға өседі. Біздің мысалымызда, 1 мс-та 200 Кбитке өседі. Трафикті әр жөнелткен сайын санауыш кемиді, оның мәні нөлге жеткен кезде, дестелерді жөнелту тоқталады.

Егер дестелердің көлемдері бірдей болса, шелек деңгейін дестемен (мы-

салы, 200 Мбит – бұл 20 десте 1250 байттан) өлшеуге болады. Алайда, көбіне дестелердің көлемдері әртүрлі. Сондықтан шелек деңгейі байтпен өлшенеді. Егер шелектегі байттар саны дестені жөнелтуге жеткіліксіз болса, онда десте жағдай өзгергенше күтуі керек (егер шелекті толтыру жылдамдығы төмен болса, бұл тез арада болмайды).

Шығыс буманың ең үлкен ұзақтығын өлшеу кезінде (шелек босағанша) шелек босағанша жаңа маркерлердің келетіндігін ескеру керек. Бума ұзақтығы S с болғанда, маркерлі шелек көлемі B байт, маркердің пайда болу жылдамдығы R байт/с және ең үлкен шығыс жылдамдығы M байт/с болса, бумадағы жөнелтілетін ең үлкен байттар саны $B+RS$ байт болады. Сонымен бірге, бумада ең үлкен жылдамдықпен жіберілген байттар саны MS -ке тең. Сонымен,

$$B+RS=MS.$$

Осы теңдеуді шешіп: $S=B/(M-R)$ аламыз. Бірдің параметрлеріміз бойынша $B=9600$ Кбайт, $M=125$ Мбайт/с және $R=25$ Мбайт/с болғанда бума ұзақтығы шамамен 94 мс болады.

Маркерлі шелек алгоритмінің кемшілігі, ірі бумаларды тасымалдау жылдамдығы тұрақты R мәніне дейін төмендейді. Көбіне қарбалас уақыт жылдамдығын төмендетіп, жылдамдықтың тұрақты мәнге қайтып оралмау қажет (бірақ бұл мәнде жоғарылатпай-ақ, желіге қосымша трафик жібермеу) болады. Тегіс трафикті алудың тағы бір әдісі – бірінші маркерлі шелектен кейін тағы біреуін қою. Екіншісінің жылдамдығы біріншіге қарағанда әлдеқайда жоғары болуы тиіс. Іс жүзінде бірінші шелек трафик сипаттамаларын анықтап, кейде ірі көлемдегі деректерді жөнелтуге мүмкіндік беріп, оның жылдамдығын бекітеді. Екінші шелек ең үлкен жылдамдықты төмендетеді, одан мынадай бумалар түсуі мүмкін: егер екінші шелек жылдамдығы 500 Мбит/с, ал көлемі – 0 болса, бірінші бума желіге 500 Мбит/с ең үлкен жылдамдықпен түседі. Бұл біздің алдыңғы мәніміз 1000 Мбит/с-тен кіші.

Мұндай схемаларды басқару қарапайым болмауы мүмкін. Маркерлі шелек хосттағы трафикті құрастыру үшін пайдаланылған кезде, дестелер шелектен өткенше кезекте тұрулары керек. Олар желі маршруттауышында, трафикті анықтау үшін қабылданған кезде, желі алгоритмді имитациялап, дестелер және байттар рұқсат етілгеннен көп жіберілмейді деп кепілдік береді. Сонда да бұл тәсілдер желілік трафикті басқарылатындай түрге келтіріп, құрастыруға мүмкіндік береді, нәтижесінде қызмет көрсету сапасына деген талаптар орындалады.

5.4.3. Дестелерді диспетчерлендіру

Трафикті басқару мүмкіндігі – бұл кепілденген сапалы қызмет көрсету ісінде жақсы алғашқы қадам. Алайда, тұтынушыға өнімділік кепілдігін беру үшін ресурстардың жеткілікті санын қорда ұстау керек. Ол үшін біз ағындағы

дестелердің барлығы бір жолмен жүреді деп санаймыз. Оларды бірнеше маршруттауыштар арасында кездейсоқ таратқан кезде, қандай да бір затқа кепілдік беру мүмкін емес. Демек, ақпарат көзі мен қабылдауыш арасында виртуалды арна тәрізді байланыс болуы тиіс, сонда осы ағынға тиесілі барлық дестелер көрсетілген маршрут бойынша жөнелтіледі.

Маршруттауыш ресурстарын ағын дестелері және бәсекелес ағын арасында тарату алгоритмі **дестелерді диспетчерлендіру алгоритмі (packet scheduling algorithm)** деп аталады. Ресурстардың үш типін қорға қоюға болады:

1. Өткізгіштік қабілеттілік.
2. Буферлік кеңістік.
3. Орталық процессор уақыты.

Өткізгіштік қабілеттілікті қорда сақтау – ең ыңғайлысы. Егер ағынға 1 Мбит/с жылдамдық қажет болса, шығыс торап 2 Мбит/с жылдамдықпен жұмыс жасай алса, онда осындай параметрлері үш ағынды осы торап бойымен жөнелте алмаймыз. Яғни, өткізгіштік қабілеттілікті қорда сақтау дегеніміз – арнаны жұмыс жасай алатын абоненттер санынан көп абоненттерге беруді болдырмай дегенді білдіреді.

Екінші жетіспейтін ресурс – буферлік кеңістік. Десте келген кезде таңдап алынған шығыс торабы арқылы жөнелтілгенше, маршруттауыш буферінде сақталады. Буфер, ағындар бір-бірімен тартысып жатқанда, трафиктің кішігірім бумаларын сақтау үшін керек. Егер буферлік кеңістік қолжетімсіз болса, онда кірістегі десте қабылданбайды, себебі оны сақтайтын орын жоқ. Қызмет көрсетудің жақсы сапасын қамтамасыз ету үшін буферлік кеңістіктің біраз бөлігін, нақты ағын үшін оны қорда сақтау керек. Сонда ол басқалармен буферлік кеңістік үшін тартыспай, тіпті ең үлкен көлемге дейін қол жеткізе алады.

Соңында, орталық процессор уақыты да бағалы ресурс бола алады. Маршруттауышта орталық процессор уақыты не үшін шығындалады? Дестелерді өңдеу үшін. Сондықтан маршруттауыштың дестелерді өңдейтін шекті жылдамдығы бар. Көптеген дестелерді қазіргі маршруттауыштар жылдам өңдей алғанымен, дестелерді кейбір түрлері (нақтырақ, ICMP, біз ол жайлы 5.6-бөлімде айтамыз) орталық процессордың уақытын ұзағырақ қажет етеді. Процессордың асыра жүктелмегеніне сенімді болу керек – бұл әр дестенің уақытылы өңделуінің кепілдігі.

Дестелерді диспетчерлендіру алгоритмі, буферден келесіде қандай дестені шығыс торабы арқылы жөнелту керек екенін анықтап, маршруттауыштың өткізгіштік қабілеттілігін және басқа да ресурстарын таратады. Диспетчердің қарапайым нұсқасын, біз маршруттауыштың жұмыс принципін қарастырған кезде талқылағанбыз. Әр маршруттауыш дестені кезекке қояды (әр шығыс торабы үшін жеке), дестелер мұнда жөнелтуді күтеді. Жөнелту дестелердің келген ретімен жүргізіледі. Бұл принцип **FIFO (First-Come First-Out, бірінші келді – бірінші кетті)** немесе **FIFS (First-Come First-Serve, бірінші келді – бірінші қызмет көрсетілді)** деп аталады.

FIFO принципі бойынша жұмыс жасайтын маршруттауыштар, кезек

асыратолған кезде соңынан келген дестелерді жойып жібереді. Жаңа келген дестелер кезек соңына орналасатын болғандықтан, мұндай тәртіп «құрығын шабу» (tail drop) деп аталады. Бұл тәсілдің қарапайым және үйреншікті нұсқа болғаны соншалықты, балама тәсілді ойлап табу жәй емес. Сонда да, біз 5.3.5-бөлімде қарастырған кездейсоқ ерте анықтау (RED) алгоритмі кезек өсе бастағанда, жаңа дестелерді кездейсоқ түрде жояды. Біз осында қарастыратын, диспетчерлендірудің басқа алгоритмдері дестелерді жою үшін әртүрлі мүмкіндіктерді пайдаланады.

FIFO принципі бойынша диспетчерлендіруді жүзеге асыру оңай, алайда ол жоғары қызмет сапасын қамтамасыз ете алмайды: егер ағын бірнешеу болса, онда біреуі екіншісінің өнімділігіне кедергі жасайды. Егер бірінші ағын басқыншыл болып, үлкен көлемді трафик жөнелтетін болса, оның дестелері кезекке қойылады. Егер дестелер келген реті бойынша өңделетін болса, онда басқыншыл ағын, маршруттауыш қуатының үлкен бөлігін басқа ағындарға бермей алады. Бұл қызмет көрсету сапасын төмендетеді. Маршруттауыш арқылы өткен басқа ағындардың дестелері басқыншыл ағын дестелеріне қызмет көрсетілгенше кезекте күтіп, кешігіп келуі әбден мүмкін, бұл жағдайды одан бетер ушықтырады.

Ағындарды окшауландырып, олардың арасындағы қақтығысты болдырмас үшін көптеген дестелерді диспетчерлендіру алгоритмдері құрастырылды (Bhatti және Crowcroft, 2000). Ең бірінші алгоритмдердің бірі – **әділ қызмет көрсету (fair queueing)** алгоритмі (Nagle, 1987). Оның мағынасы мынада, маршруттауыштар әр шығыс торабы үшін жеке кезек ұйымдастырады. Әр ағын үшін бір кезек. Торап босаған кезде маршруттауыш кезектерді айналмалы түрде, келесі кезектің бірінші дестесін таңдап, сканерлейді (5.27-сурет). Осылайша, егер осы шығыс торапы үшін n хост тартысатын болса, онда олардың әрқайсысы $n-1$ бөтен дестені жіберіп, өз дестесін жөнелте алады. Барлық ағындар дестені бірдей жылдамдықпен жөнелтетін болып шығады. Басқыншыл хостқа, оның кезегінде басқаларға қарағанда дестелер көп екендігі көмектеспейді.

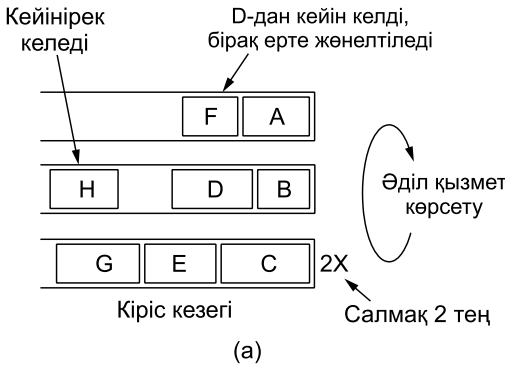


5.27-сурет. Айналымды әділ қызмет көрсету

Алайда осы алгоритммен байланысты бір мәселе бар: оның ұсынатын өткізгіштік қабілеттілігі хост пайдаланатын дестенің көлеміне тікелей байланысты. Үлкен бөлігі дестесі үлкен хост ұсынады, кіші бөлігін дестесі кіші хост ұсынады. Алгоритмнің жақсартылған версиясы (Demers, 1990) басылымында ұсынылған. Мұндай айналымдық сұрау дестені жұлып алу мақсатында емес, байт-

ты алу мақсатында жүреді. Негізгі ой: виртуалды уақытты есептеу немесе дестені жөнелту аяқталатын айналым нөмірін есептеу. Әр айналым, жөнелтілетін дестелер тұрған әр кезектен бір байттан жұлып алады. Бұдан кейін дестелер кезекті сұраған кезде аяқталған реті бойынша жөнелтіледі.

5.28-суретте алгоритм жұмысы және үш ағын үшін дестелерді жөнелтуді аяқтау уақытының мысалы келтірілген. Егер десте ұзындығы L -ге тең болса, онда оны жөнелту L айналымнан кейін бітеді. Дестені жөнелту не алдыңғы дестені жөнелткеннен кейін бірден басталады, не егер кезек бос болса, онда десте келісімен басталады.



Десте	Келу уақыты	Ұзындық	Жөнелтудің аяқталу уақыты	Жөнелтілу реті
A	0	8	8	1
B	5	6	11	3
C	5	10	10	2
D	8	9	20	7
E	8	8	14	4
F	10	6	16	5
G	11	10	19	6
H	20	8	28	8

5.28-сурет. Алгоритм жұмысы: а – салмақты әділ қызмет көрсету; ә – дестелер үшін жөнелтудің аяқталу уақыты

Кесте мәндері (5.28 ә-сурет) алғашқы екі кезектегі бірінші екі дестенің A, B, D, F кезегімен келетінін көрсетеді. A дестесі нөлінші айналымда келеді, оның ұзындығы 8 байтқа тең, сондықтан жөнелту 8 айналымда аяқталады. Тура осылайша B дестесінің жөнелтілуі 11 айналымда аяқталады. D дестесі B жөнелтілген кезде келеді. Оны жөнелту, B жөнелтілген кейінгі 9 айналымда аяқталады. Дәл осы кезде уақыт тура 20 тең. Сәйкесінше, F жөнелту уақытының аяқталуы 16 тең. Жаңа дестелер жоқ деп есептегенде, дестелерді жөнелтудің аяқталу уақытының реті: A, B, F, D ($F D$ -дан кейін келсе де) болады. Жоғарғы ағында жөнелтуді D -ға дейін аяқтайтын кішігірім десте келуі мүмкін. Алайда, тек жөнелту басталмаса ғана ол D -ны орап кете алады. Әділ қызмет көрсету кезінде, нақты осы уақытта кететін дестелерді жөнелту тоқтатылмайды. Бұл алгоритм дестелерді толығымен жөнелтеді, сондықтан байттық тасымалдаудың тек жуықтауы болып саналады. Бұл өте жақсы жуықтау, себебі әр уақыт кезеңінде тек бір десте жөнелтіледі.

Алгоритмнің кемшілігі, барлық хосттарға бірдей басымдылық беріледі. Көптеген жағдайларда, мысалы, қарапайм файл-серверлерге қарағанда, видеосерверлерге үлкен өткізгіштік қабілеттілік ұсынған дұрыс. Олар бір айналымда екі немесе оданда көп байт жөнелте алар еді. Алгоритінің осындай түрлендірілген түрі салмақты әділ қызмет көрсету (WFQ – Weighted Fair Queueing) деп атала-

ды. Егер бір айналымда жөнелтілетін байттар санын ағын салмағы W деп санасақ, онда жөнелтуді аяқтау уақыты формуласы төмендегідей болады:

$$F_i = \max(A_i, F_{i-1}) + L_i / W,$$

мұндағы, A_i – келу уақыты, F_i – тасымалдауды аяқтау уақыты, ал L_i – i -ші десте ұзындығы. Төменгі кезек (5.28 *a-сурет*) салмағы 2, сондықтан оның дестелері жылдамырақ жөнелтіледі. Бұл тасымалдаудың аяқталу уақытынан жақсы көрінеді (5.28 *ә-сурет* қараңыз). Есепке алатын тағы бір фактор – жүзеге асыру қиындығы. Салмақты әділ қызмет көрсет тәсілі – дестелерді тасымалдау уақытының аяқталуына қарай реттеп, кезекке тұрғызады. N ағын үшін, ол әр дестеге кем дегенде $O(\log N)$ операцияны қажет етеді. Жоғары жылдамдықты маршруттауыштарда ағындар саны көп болғанда, мұны жүзеге асыру өте қиын. Әр десте үшін, бар жоғы $O(1)$ операцияны қажет ететін – **DRR (deficit round robin)** схемасы әлде қайда тиімді жұмыс жасайды (Shreedhar және Varghese, 1995). Ол салмақты әділ қызмет көрсету үшін кеңінен қолданылады.

Диспетчерлеудің басқа да алгоритмдері бар. Оларға мысалы, әр дестенің өз басымдылығы бар, басымдылық бойынша диспетчерлеу жатады. Басымдылығы жоғары дестелер, басымдылығы төмен дестелерге қарағанда ертерек жөнелтіледі, соңғысы буферге орналастырылады. Басымдылықтары бірдей дестелер FIFO принципі бойынша жөнелтіледі. Бұл алгоритмнің кемшілігі, басымдылығы жоғары дестелер басымдылығы төмендердің жөнелтілуіне кедергі жасайды. Нәтижесінде басымдылығы төмен дестелер жөнелтуді шексіз көп уақыт күтуі мүмкін. Осы тұрғыдан алғанда, салмақты әділ қызмет көрсету – әлдеқайда табысты нұсқа. Егер басымдылығы жоғары кезекке үлкен салмақ берілсе (айталық, 3), Онда басымдылығы жоғары дестелер жылдам торап арқылы өтетін болады (басымдылығы жоғары дестелер салыстырмалы түрде көп емес), олармен бірге басымдылығы төмен дестелер де жөнелтілетін болады. Іс жүзінде бинарлы басымдылықты жүйе, бірінің шексіз салмағы бар, екі кезектен тұрады.

Соңында, әр дестенің жөнелтілетін уақытты анықтайтын, уақыттық мөртанбасы бар диспетчерлеу алгоритмі бар. Clark және басқалар (1992) ұсынған жүзеге асыру нұсқасында, уақыттық мөртанба, дестенің желі маршруттауыштарынан өту кестесінен неше уақытқа қалып немесе алда келе жатқаны жайлы ақпаратты тіркейді. Кезекте жөнелтуді күтіп тұрған дестелер, әдетте кестеден қалып қояды, бірінші кезекте жөнелтілетін дестелер кестеден алда жүреді. Дестені уақыттық мөртанба ретімен жөнелту – баяу дестелерді жөнелтуді жылдамдатудың және жылдам дестелерді баяулатудың тиімді тәсілі. Мұндай диспетчерлеу кезінде барлық дестелер шамамен бірдей кідіріспен жеткізіледі.

5.4.4. Қолжеткізуді басқару

Қызмет көрсету сапасының (QoS) негізгі құрама бөліктерімен танысқаннан

кейін, енді соның барлығын бірге жинастыратын уақыт келді. Қызмет көрсету сапасына кепілдік қол жеткізуді басқару арқылы орындалады. Осы уақытқа дейін біз қол жеткізуді басқаруды асыра жүктелумен күрес ретінде қарастырдық. Бұл өнімділіктің, аса тиімді болмаса да кепілдігі болып саналады. Мұнда біз кепілдікке аса қатаң талаптар қоямыз, бірақ сол бұрынғы модель қалады. Тұтынушы желіге, қызмет көрсету сапасына белгілі бір талаптар қойып, ағынды жөнелтеді. Желі өз мүмкіндіктеріне және басқа тұтынушылар алдындағы міндеттеріне байланысты, бұл ағынды қабылдайды немесе қабылдамайды. Егер желі ағынды қабылдаса, онда ол трафикті жөнелту кезінде клиент қажет қызмет сапасын алу үшін, алдын ала ресурстарды қорда сақтауы тиіс.

Қорда сақтау десте жүретін жолдағы түйін маршруттауыштарының барлығында жүргізілуі мүмкін. Егер олардың қайсыбірінде қорда сақталған ресурс жоқ болса, онда кептеліс болып, қызмет көрсету сапа кепілдігі орындалмай қалады. Маршруттаудың көптеген алгоритмдері жөнелтушіден қабылдаушыға дейін ең жақсы жолды таңдайды және бүкіл трафикті осы жолмен жөнелтеді. Алайда, бұл жағдайда трафиктің бір бөлігі, ең жақсы жолдағы түйіндерді ресурстар жетіспеушілігінен қабылданбай қалуы мүмкін. Онда, желі клиенттер алдындағы өз міндетін орындау үшін, ірі ағында жөнелтуге басқа жол таңдайды. Бұл **QoS-маршруттау (QoS routing)** деп аталады. Бұл тәсілдердің сипаттамасын Chen және Nahrstedt (1998) жұмыстарынан қарауға болады. Егер трафикті бір адрес үшін, бірнеше жолға алдын ала таратып қойса, қосымша ресурстарды табу әлдеқайда жеңіл болады. Маршруттауыштар бағасы бірдей жолдарды таңдап және шығыс байланыс көлеміне пропорционал немесе эквивалентті маршрутты пайдалана алады. Алайда, бұдан да күрделі алгоритмдер бар (Nelakuditi және Zhang, 2002).

Ағын сұраған ресурстарды (мысалы, өткізгіштік қабілеттілік, буферлік жады, орталық процессор уақыты) бармен жәй ғана салыстырғаннан гөрі, таңдап алынған жол үшін өңдеу жайлы шешімді қабылдау немесе қабылдамай тастау қиындау. Біріншіден, көптеген қосымшалар өзін өткізгіштік қабілеттілікке деген талаптарын білсе де, олар қандай буферлік жады және процессормен неше такті жұмыс жасау керек екенін білмейді. Демек, кем дегенде, ағынды басқаша сипаттау және маршруттауыш бөлетін ресурстарды анықтау тәсілі қажет. Біз жақын арада осы сұраққа қайтып ораламыз.

Ары қарай, қосымшалар өңдеуге жіберілген шекті мерзімге деген толеранттылық жағынан әрқалай. Сондықтан қосымшалар желі ұсынған кепілдік түрінің бірін таңдаулары керек: тым қатаң кепілдіктен жұмсақ кепілдікке дейін. Басқа жағдайдағы шарттар бірдей болғанда, қатаң кепілдік танымал болар еді. Алайда, мәселе олардың қымбаттығында, себебі ол ең нашар жағдайда желінің әрекетін шектейді. Қосымшалар үшін көбіне дестілерге арналған шектеулер жеткілікті, сонымен бірге бұл шектеулер бекітілген қуатты пайдаланып, қосымша ағын қосуға мүмкіндік береді.

Соңында, кейбір қосымшалар дестелер параметрі үшін саудаласа алады, ал кейбіреулері саудаласпайды. Айталық, әдетте 30 кадр/с ұсынатын видео ойнатқыш, егер 30-ға өткізгіштік қабілеттілік жетпесе, 25 кадр/с келісуі мүмкін. Сәйкесінше,

кадрадағы пиксельдер санын, аудиодеректер үшін өткізгіштік жолақты және басқа да қосымшалар ағынының қасиеттерін баптауға болады.

Ағынмен не істеу керек деген айтысқа бірнеше жақтар (жөнелтуші, қабылдаушы және олардың арасындағы жолда орналасқан барлық маршрут-тауыштар) кірісетіндіктен, ағынды талқылауға болатын параметрлер арқылы неғұрлым мұқият сипаттау керек. Мұндай параметрлер жиынтығы ағын спецификасы (flow specification) деп аталады. Әдеттегі жағдайда жөнелтуші (мысалы, видео деректер сервері), аргумент ретінде пайдаланатын параметрлерді көрсетіп, ағын спецификасын құрастырады. Ағын жолында спецификаның таралуына қарай, ондағы ақпаратты барлық маршруттауыштар өз қалауларына сараптап, түрлендіреді. Бұл түрлендірулер тек ағынды азайтуға бағытталады (мысалы, спецификада көрсетілген жылдамдық тек төмендетілуі мүмкін, бірақ еш уақытта жоғарылатылмайды). Специфика қабылдаушыға жеткен кезде, соңғы параметрлер белгілі болады.

Ағын спецификасы мазмұны ретінде, біз келесі бөлімде қарастыратын QoS технологиясының – интегралды қызмет көрсетудің RFC 2210 және RFC 2211 негізделген мысалды (5.3-кесте) қарастырайық. Спецификаның бес параметрі бар. Алғашқы екі параметр, маркерлі шелек жылдамдығы және маркерлі шелек мөлшері, жөнелтуші ұзақ уақыт аралығында қолдай алатын, үлкен уақыт аралығында орташаланған ең үлкен жылдамдықты, сонымен бірге, қысқа уақыт аралығында берілетін буманың ең үлкен мөлшерін есептеуге мүмкіндік береді.

5.3-кесте

Ағын спецификасының мысалы

Параметр	Өлшем бірлігі
Маркерлі шелек жылдамдығы	байт/с
Маркерлі шелек мөлшері	байт
Деректерді тасымалдаудың қарбалас жылдамдығы	байт/с
Дестенің ең кіші мөлшері	байт
Дестенің ең үлкен мөлшері	байт

Үшінші параметр, *деректерді тасымалдаудың қарбалас жылдамдығы*, бұл, тіпті қысқа уақыт аралығы үшін де мүмкін болатын ең үлкен жылдамдық. Жөнелтуші ешбір жағдайда бұл жылдамдықтан аспауы тиіс.

Соңғы екі параметр, транспорттық және желілік деңгей тақырыптарын (TCP және IP) қоса есептегендегі дестенің ең кіші және ең үлкен параметрін анықтайды. Ең кіші мөлшер ыңғайлы, себебі әрбір дестені өңдеу, аз болса да уақыт алады. Маршруттауыш, 1 Кбайттан секундына 10 000 десте қабылдауға дайын болуы мүмкін, бірақ әрқайсысы 50 байттан секундына 10 000 десте өңдеуге дайын емес, тіпті екінші жағдайда деректер тасымалдау жылдамдығының біріншіге

қарағанда төмен болса да. Дестенің ең үлкен мөлшері аса маңызды емес, бірақ басқа себептермен. Себебі, желі ішінде ешбір жағдайда бұзуға болмайтын, белгілі бір шектеулер бар. Мысалы, егер ағын жолы Ethernet арқылы өтетін болса, онда дестенің ең үлкен мөлшері желінің басқа бөлігінің дестенің қандай мөлшерін қолдайтындығына қарамастан, 1500 байтпен шектеледі.

Маршруттауыштардың ағын спецификасын қорда сақталатын ресурстар жиынтығына қалай түрлендіреді? Алғашқыда, егер маршруттауыштың бір арнасы 1 Гбит/с жылдамдықпен жұмыс жасайтын және дестенің орташа мөлшері 1000 битке тең болса, онда ол секундына 1 млн десте өндейтіндей болып көрінуі мүмкін. Бірақ бұл олай емес, себебі жүктелудің статистикалық күлкілдеу салдарынан тасымалдау белгілі бір аралықта бірнеше уақытқа тоқтатылып отырады. Егер барлық жұмысты орындау үшін арна бар қуатты пайдалану керек болса, онда бірнеше секундтық үзіліс, ешуақытта күреп бітпейтін үйінді себебі болуы мүмкін.

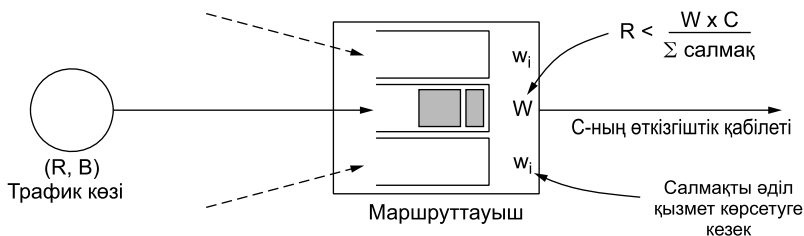
Алайда, егер жүктеме теориялық сыйымдылықтан біршама кіші болса, онда да кезек пайда болып, кідіріс туындайды. Дестелер, секундына λ орташа келу жылдамдығымен біркелкі келмейтін жағдайды қарастырайық. Дестелер ұзындығы кездейсоқ және арна арқылы, секундына μ орташа қызмет жылдамдығымен жөнелтіле алады делік. Келу жылдамдығы да, қызмет көрсету жылдамдығы да пуассон арқылы таратынған (мұндай жүйелер, көпшілік қызмет көрсету жүйесі М/М/1 деп аталады, мұндағы «М», «марк үрдісі» дегенді білдіреді, біздің жағдайда ол сонымен бірге пуассон таратылуын білдіреді) деп болжайық. Онда, көпшілік қызмет көрсету теориясын пайдалана отырып, дестеге тиесілі орташа кідіріс Т-ның төмендегі формулаға тең екенін дәлелдеуге болады.

$$T = \frac{1}{\mu} \times \frac{1}{1 - \lambda / \mu} = \frac{1}{\mu} \times \frac{1}{1 - \rho},$$

мұндағы, $\rho = \lambda / \mu$ – орталық процессорды пайдалану коэффициенті. Бірінші көбейткіш $1/\mu$ – бұл бәсекелестік жоқ кездегі кідіріс. Екінші көбейткіш – басқа ағындармен бәсекелес кезінде орын алатын қосымша кідіріс. Мысалы, егер $\lambda = 950\,000$ десте/с болса, ал $\mu = 1\,000\,000$ десте/с болса, онда $\rho = 0,95$ және әр дестенің орташа кідірісі 20 мкс орнына 1 мкс құрайды. Бұл есептеулер жеткізу кідірісін және өндеу кідірісін де есепке алады: трафик аз болғанда $\lambda/\mu \approx 0$. Егер ағын жолында, айталық 30 маршруттауыш бар болса, онда тек қызмет көрсету кідірісі 600 мкс құрайды.

Өткізгіштік қабілеттілік және кідіріс уақыты кепілдемесін орындау үшін, ағын сипаттамаларын және маршруттауыш ресурстарын сәйкестендіру тәсілдерінің бірін Parekh және Gallagher (1993, 1994) ұсынған. Осы тәсілге сәйкес, жөнелтуші трафикті маркерлі шелек (R , B) көмегімен құрастыруы тиіс, ал маршруттауыш салмақты әділ қызмет көрсетуді қолдануы тиіс. Әр ағынға, маркерлі шелекті R жылдамдықпен (5.29-суретті қараңыз) босатуға жеткілікті, W салмағы беріледі. Егер, мысалы, ағын жылдамдығы 1 Мбит/с құраса, ал маршруттауыш және шығыс байланыс қуаты 1 Гбит/с тең болса, шығыс байланыс үшін ағын салмағы, осы

маршруттауыштың барлық ағындар салмағы қосындысының мыңнан бір бөлігін үлкен болуы керек. Бұл ағынға ең кіші өткізгіштік қабілеттілікті қамтамасыз етеді. Егер ағын өзіне қажет жылдамдықты ала алмаса, ол желіге жіберілмейді.



5.29-сурет. Маркерлі шелек және салмақты әділ қызмет көрсетуді қолдану арқылы өткізгіштік қабілеттілік және кідіріс кепілін қамтамасыз ету

Осы ағын үшін кезекте күтудің ең үлкен уақыты маркерлі шелектің ең үлкен сыйымдылығының функциясы болып келеді. Біркелкі трафик кезінде дестелер маршруттауыш арқылы келген жылдамдықпен өтеді. Бұл кезде ешқандай кідіріс болмайды (дестелеу әсерін санамағанда). Екінші жағынан, егер трафик бумамен берілетін болса, онда буманың ең үлкен мөлшері B , маршруттауышқа толығымен келуі мүмкін. Онда ең үлкен кідіріс D , дестенің бекітілген өткізгіштік қабілеттілік кезінде маршруттауыштан өту уақытына тең болады, немесе B/R (тағы да дестелеу әсерін есепке алмағанда). Егер бұл көрсеткіш тым үлкен болса, ағын үлкен өткізгіштік қабілеттілікті сұрауы мүмкін.

Мұндай кепілдіктер тым қатаң болып келеді: маркерлі шелек трафик тегіс еместігін шектейді, ал әділ қызмет көрсету, жеке ағынға бөлінген өткізгіштік қабілеттілікті оқшаулайды. Бұл, тіпті басқа ағындар трафикті жинап бір мезгілде жөнелтсе де, ағын үшін өткізгіштік қабілеттілік және кідіріс кепілдігі орындалады дегенді білдіреді.

Одан бетер, нәтиже жолдағы түйіндердегі маршруттауыштар санына және желі топологиясына тәуелді емес. Әр ағын, әр маршруттауышта қорда сақталғандықтан, өзінің ең кіші өткізгіштік қабілеттілігін алады. Кідіріспен жағдай басқаша. Ең нашар жағдайда, егер трафиктің ірі көлемі бірінші маршруттауышқа түсіп, басқа ағын трафигімен бәсекелесе, ең үлкен кідіріс D -ға тең болады. Алайда, бұдан кейін трафик біршама тегіс болады, сондықтан келесі маршруттауышта мұндай кідіріс болмайды. Нәтижесінде кезектегі жалпы кідіріс D -дан аспайды.

5.4.5. Интегралды қызмет көрсету

1995-1997 жылдары Интернет желісін мәселелік жобалау тобы (IETF) мультимедиялық ағынын құрылымын алға жылжыту үшін біраз күш жұмсады. Нәтижесінде, RFC перфиксінен бастап, 2205-2212 реттік нөмірлерінен тұратын

RFC құжаттары пайда болды. Бұл еңбектердің жалпы атауы – ағындық **алгоритмдер** немесе **интегралды қызмет көрсету (integrated services)**. Ұсынылған технология, бірадрестік және көп адрестік қосымшаларға арналған. Біріншісінің мысалы ретінде, көргісі келген тұтынушыға ағын ретінде жеткізілетін жаңалықтар сайтындағы видеоклипті айтуға болады. Екіншісінің мысалы – өз бағдарламаларын IP-десте ағыны ретінде кеңтарту арқылы тарататын сандық теледидар станцияларының жиыны. Бұл қызметті әртүрлі географиялық нүктелерде орналасқан, көптеген абоненттер пайдалана алады. Төменде біз көпадресті таратуды толығырақ қарастырамыз, себебі бірадрестік тасымалдау – бар-жоғы көп адрессті таратудың ерекше жағдайды.

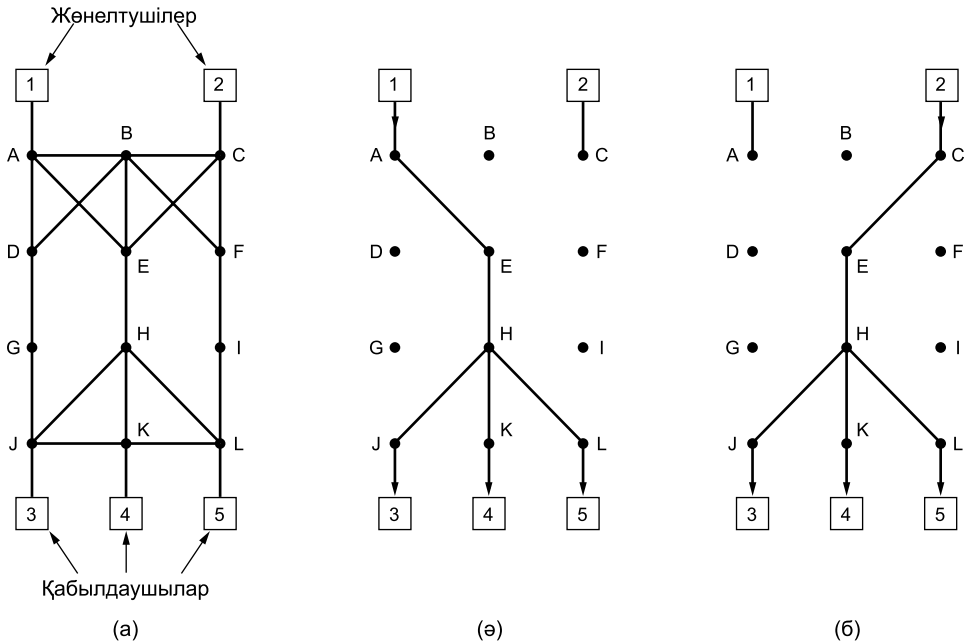
Көпадресті маршруттауы бар көптеген қосымшаларда тұтынушылар тобы динамикалық түрде өзгеруі мүмкін. Мысалы, адамдар видеоконференцияға қатысу үшін қосылуы мүмкін, бірақ егер бұл оны жалықтырса, онда көпіршік операға немесе спорттық арнаға ауысуы мүмкін. Бұл жағдайда өткізгіштік қабілеттілікті қорда сақтау стратегиясы қолайсыз, сондықтан әр ақпарат көзіне аудитория құрамындағы өзгерісті есте сақтау керек болады. Теледидар сигналын тасымалдауға арналған жүйелерде миллиондаған абонент бар, мұндай амал тіптен жарамайды.

Ресурстарды қорда сақтаудың RSVP хаттамасы

Желі тұтынушыларына ашық, интегралды қызмет көрсетудің негізгі құрама бөлігі – **ресурстарды қорда сақтау хаттамасы (RSVP – Resource reSerVation Protocol)**. Ол RFC 2205-2210 құжаттарында сипатталған. Атынан көрініп тұрғандай, хаттама ресурстарды қорда сақтауға арналған. Басқа хаттамалар деректер тасымалдауды сипаттауға арналған. RSVP бірнеше жөнелтушілерге деректерді бірнеше абоненттер тобына жөнелтуге мүмкіндік береді. Жеке қабылдаушыларға арнаны ауыстыруға және асыра жүктелуді болдырмай, өткізгіштік қабілеттілікті пайдалануды оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Бұл хаттаманың қарапайым формасы ертеде айтылған байланыстырушы ағашты пайдалана отырып, көп адрессті маршруттауды қолданады. Әр топқа топтық адрес тағайындалады. Топқа деректер жөнелту үшін, жөнелтуші оның адресін десте тақырыбына орналастырады. Сонан кейін, көп адрессті маршруттаудың стандартты алгоритмі, топтың барлық мүшелерін қамтитын байланыстырушы ағаш тұрғызады. Маршруттау алгоритмі RSVP хаттамасына кірмейді. Кәдімгі көп адрессті маршруттаудан айырмашылығы, топқа белгілі бір кезең сайын қосымша ақпарат жөнелтіліп отырады. Осы ақпарат көмегімен маршруттауыштар белгілі бір деректер құрылымын өзгертіп отырады.

Мысал ретінде, *5.30 а-суретінде* көрсетілген желіні қарастырамыз. 1 және 2 хосттары көпадресті жөнелткіш болып саналады, ал 3, 4 және 5 – көп адрессті қабылдауыштар. Бұл мысалда жөнелткіштер және қабылдауыштар бөлінген, алайда жалпы жағдайда бұл екі жиын бірін-бірі жабуы мүмкін. 1 және 2 хост үшін көп адрессті тарату ағашы, сәйкесінше *5.30 ә* және *б-суреттерінде* көрсетілген.



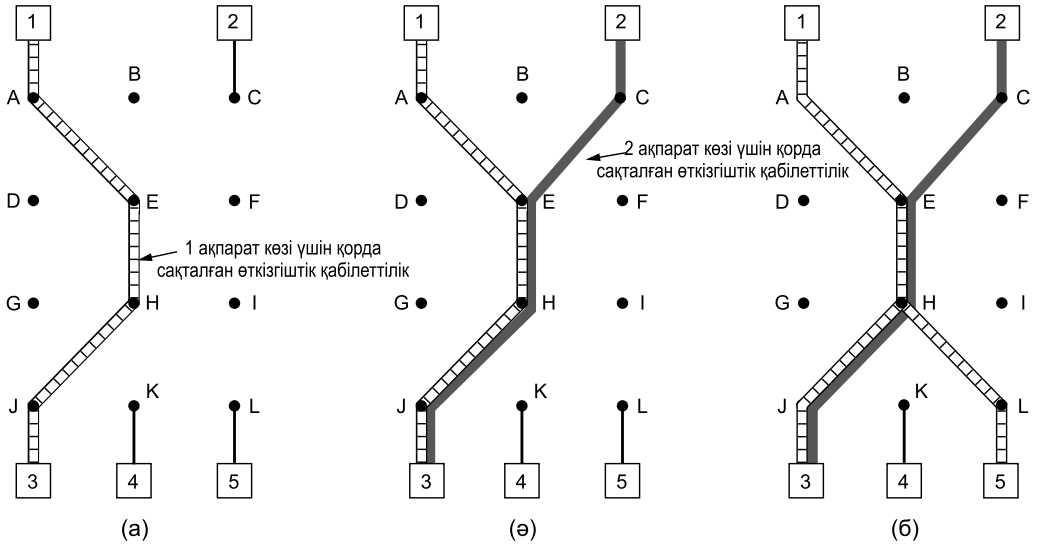
5.30-сурет. Ресурстарды қорда сақтау хаттамасы: а – желі; ә – 1 хост үшін көп адресті таратудың байланыстырушы ағашы; б – 2 хост үшін көп адресті таратудың байланыстырушы ағашы

Қабылдау сапасын жақсарту және асыра жүктелуді болдырмау үшін, топтағы әр қабылдаушы тасымалдаушыға (ағаш бойымен жоғары) қорда сақтауға сұраныс жібере алады. Сұраныс ертеде айтылған кері жол ағашы алгоритмін пайдаланып жылжиды. Әр транзиттік аумақта маршруттауыш сұранысты байқап, қажет өткізгіштік қабілеттілікті қорда сақтайды. Алдыңғы бөлімде, біз бұны салмақты әділ қызмет көрсету диспетчерінің қалай орындайтынын көрдік. Егер өткізгіштік қабілеттілік жеткіліксіз болса, ол қателік жайлы мәлімдемемен жауап береді. Сұраныс жөнелтушіге жететін сәтке дейін, өткізгіштік қабілеттілік бүкіл жол бойында, жөнелтушіден қабылдаушыға дейін, қорда сақталады.

Қорда сақтау мысалы 5.31 а-суретінде көрсетілген. Мұнда 3 хост 1 хостқа баратын арнаны сұраған. Арна құрастырылғаннан кейін 1 хосттан дестелер ағыны 3 хостқа, кептелістен қорықпай ағады. Енді 3 хост басқа-басқа тасымалдауышқа, 2 хостқа, тұтынушы екі арнаны бірдей қарау үшін, арнаны қорда сақтауды сұрағанда не болатынын қарастырайық. Қорда сақталған екінші арна 5.31 б-суретінде көрсетілген. Назар аударыңыздар, 3 хост және Е маршруттауышы арасында екі жеке арна болуы қажет, себебі екі тәуелсіз ағын тасымалданады.

Соңында, 5.31 б-суретінде 5 хост 1 хост жөнелткен бағдарламаны қарауды шешеді де, ол да өзіне арнаны қорда сақтауды сұрайды. Алдымен қажет өткізгіштік қабілеттілік Н маршруттауышына дейін қорда сақталады. Сонан кейін бұл марш-

руттауыш, 1 хосттан арна бар екенін байқайды, сондықтан ағаш бойымен жоғары қосымша арна сақтау қажет емес. 3 және 5 хосттардың әртүрлі өткізгіштік қабілеттік (мысалы, 3 хостта кіші экран, сондықтан оған үлкен өткізгіштік қабілеттілік қажет) сұрауы мүмкін екеніне назар аударыңыздар. Демек, H маршруттауышы ең сараң қабылдаушыны қамтамасыз ететін өткізгіштік қабілеттілікті қорда сақтауы тиіс.



5.31-сурет. Қорда сақтау мысалы: а – 3 хост 1 хостқа арна сұрайды; ə – сонан кейін 3 хост 2 хостқа екінші арнаны сұрайды; б – 5 хост 1 хостқа арна сұрайды

Қорда сақтауға сұраныс берген кезде қабылдаушы (тілек бойынша) бір немесе сигнал алғысы келетін бірнеше ақпарат көзін көрсетуі мүмкін. Сонымен бірге, ол ақпарат көздерінің қорда сақтау уақытында бекітілген немесе өзінің ақпарат көзін ауыстыра алатынын да көрсетеді. Бұл мәліметтерді маршруттауыш өткізгіштік қабілеттілікті жобалауды оңтайландыру үшін пайдаланады. Жеке алғанда, екі қабылдаушыға, егер олар кейін өз ақпарат көздерін өзгертпеуге келіссе, бір ортақ жол бөлінеді.

Осындай динамикалық стратегия негізінде, өткізгіштік қабілеттіліктің таңдалған ақпарат көзіне тәуелсіздігі жатыр. Қорда сақталған өткізгіштік қабілеттілікті алып, қабылдаушы бір ақпарат көзінен екіншісіне, бар жолдың жаңа ақпарат көзіне жарайтынын сақтай отырып ауыса алады. Мысалы, егер 2 хост, нақты уақыт режиміндегі бірнеше видеоағынды (көпарналы телетарату мысалы) тасымалдайды, 3 хост, өз параметрлерін өзгертпей, осы ағындар арасында қалауы бойынша ауыса алады. Маршруттауыштарға қабылдаушының қандай бағдарлама қарап отырғаны бәрібір.

5.4.6. Дифференциалды қызмет көрсету

Ағындық алгоритмдер, бір немесе бірнеше ағындарға, бүкіл маршрут бойында кез келген қажет ресурстарды қорда сақтау арқылы, қызмет көрсетудің жақсы сапасын қамтамасыз ете алады. Алайда олардың өз кемшілігі бар. Оларға, әр ағынға арна орнату кезінде, алдын ала келісім қажет. Бұл осы алгоритмі қолданылатын жүйені жеткілікті түрде кеңейтуге мүмкіндік бермейді. Айталық, мыңдаған немесе миллиондаған ағыны бар жүйеде интегралды қызмет көрсетуді пайдалану мүмкін емес. Бұдан басқа, ағындық алгоритмдер, маршруттаушыларда сақталатын ағындар жайлы ішкі ақпаратпен жұмыс жасайды, бұл оларды маршруттауыш істен шыққан жағдайда осал етеді. Соңында, маршруттауыштарда жүргізуді қажет ететін програмалық өзгерістер едәуір көп және ағынды орнатқанда маршруттауыштар алмасатын күрделі үрдістермен байланысты. Нәтижесінде, интегралды қызмет көрсетудің дамуымен бұл алгоритмдер және олардың баламасы сирек қолданылады.

Осы себептермен, IETF қызмет көрсету сапасын жоғарылатудың қарапайым амалын құрастырды. Оны жергілікті әр маршруттауышта, еш алдын ала баптаусыз және үрдіске маршрут бойындағы барлық құрылғыларды кірістірмей, іске асыруға болады. Бұл амал **кластарға бағытталған** (ағынға бағытталғаннан ерекшелігі) қызмет көрсету сапасы деген атпен белгілі. IETF мәселелік тобы, RFC 2474, RFC 2475 және тағы басқа көптеген құжаттарда сипатталған **дифференциалды қызмет көрсету (differentiated services)** деген арнайы құрылымды стандарттады. Төменде біз оларды қарастырамыз.

Дифференциалды қызмет көрсету әкімшілік доменін (мысалы, интернет-провайдерлер немесе телефон компаниясы) құрайтын маршруттауыштар жиынтығын ұсынады. Әкімшілік қызмет көрсету класс жиынтығын және сәйкес маршруттау ережелерін анықтайды. Дифференциалды қызмет көрсетуді пайдаланатын абоненттен келетін дестелер класс жайлы ақпараты бар таңба алады. Бұл мәліметтер, IPv4 және IPv6 дестелерінің (5.6-бөлімді қараңыз) дифференциалды қызмет көрсету өрісіне жазылады. Кластар дестемен бүкіл желіде емес маршруттауыштарда не болып жатқанына жауап беретіндіктен, **қадамдық тәртіпті (per hop behaviors)** анықтайды. Қадамдық тәртібі бар дестелерге жақсартылған қызмет көрсетіледі (мысалы, премиум-қызмет көрсету). Класс трафигіне, оның формасына байланысты белгілі бір талап қойылады. Мысалы, одан деректердің «тесік» арқылы белгілі бір жылдамдықпен өтуін қажет ететін «тесік шелекті» қолдауын талап етуі мүмкін. Бәрі үшін ақша алуға үйренген оператор, жоғары класс бойынша қызмет көрсетілген әр десте үшін қосымша ақша алуы, немесе айына осындай N дестені жөнелткені үшін абоненттік төлемақы орнатуы мүмкін. Назар аударыңыздар: мұнда ешқандай алдын ала баптау, ресурстарды қорда сақтау және интегралды қызмет көрсетудегідей көп еңбекті қажет ететін әр ағын үшін параметрлерді келістіру жоқ. Бұл дифференциалды қызмет көрсетуді жүзеге асыруды салыстырмалы түрде қарапайым етеді.

Кластарға бағытталған қызмет көрсету, басқа аудандарда да туындайды. Мы-

салы, сәлемдемелерді жеткізу қызметі бірнеше деңгейде қызмет көрсетуді ұсынуы мүмкін: келесі күні жеткізу, бір күннен кейін немесе екі күннен кейін. Ұшақтарда әдетте бірінші класс, бизнес-класс және екінші класс болады. Тура осылайша алыс жолға жүретін поездарда. Тіпті париш жерасты метросында осы уақытқа дейін екі түрлі класс вагондары болды. Біздің тақырыпты алатын болсақ, дестелер бір-бірінен кідірістермен, жеткізу уақытының күлкүлдеуімен, қақтығыс болған жағдайда қабылданбай қалу ықтималдығымен, сонымен бірге басқа да параметрлермен (олар Ethernet кадрынан да көп) ерекшеленеді.

Кластарға бағытталған қызмет көрсету мен ағынға бағытталған қызмет көрсету арасындағы айырмашылық түсініктірек болу үшін, интернет-телефония мысалын қарастырайық. Ағындық қызмет көрсету алгоритмінде әр телефон байланысына жеке ресурстар мен кепілдік беріледі. Класқа бағытталған қызмет көрсету кезінде, барлық телефон байланыстары осы класс үшін қорда сақталған ресурстарды алады. Бір жағынан бұл ресурстарды сырттан ешкім (басқа кластар байланысы, веб-парақтарды қарау ағындарының жүйесі және т.б.) тартып ала алмайды, екінші жағынан ешбір телефон байланысы ресурсты жеке өзі үшін ала алмайды.

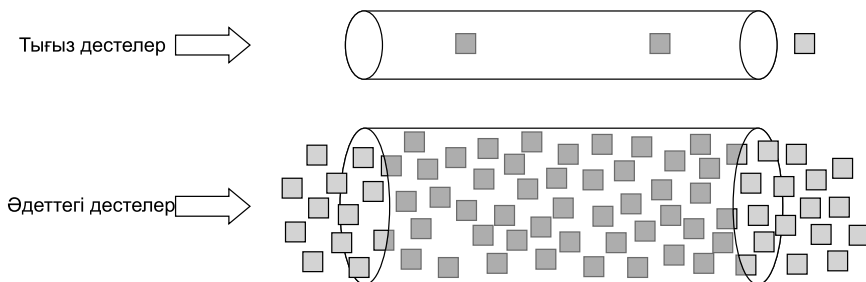
Тығыз тасымалдау

Қызмет көрсету класын таңдау оператор шешіміне байланысты, алайда дестелерді жиі әртүрлі операторлар басқаратын желілер арасында тасымалдау керек болғандықтан, IEEE мәселелік тобы, желіге байланыссыз қызмет көрсету клас-тарын анықтады. Оның ішіндегі ең қарапайымы – **тығыз тасымалдау (expedited forwarding)** класы, міне осы кластан бастаймыз. Ол RFC 3246 құжатында сипатталған.

Сонымен, тығыз тасымалдау негізделген ой өте қарапайым. Екі қызмет көрсету класы бар: әдеттегі және тығыз. Трафиктің басым бөлігі әдеттегі қызмет көрсету класын пайдаланады деп болжаймыз. Алайда, дестелердің тығыз ретпен жөнелтетін шектеулі бір бөлігі бар. Оларды желі арасында, басқа ешқандай десте жоқтай етіп жөнелту керек. Сонда олар төмен шығынмен қызмет алады: төмен кідіріспен, төмен күлкілдеумен – ІЗ-телефонияға керегі осы. Осындай екі арна-ны жүйенің графикалық бейнесі *5.32-суретте* келтірілген. Бұл жерде физикалық тораптың біреу екенін есте сақтаңыздар. Екі логикалық жол – бұл негізгі дерек-термен қатар тасымалдау үшін сым тарту емес, өткізгіштік қабілеттілікті әртүрлі кластар үшін қорда сақтаудың өзінше бір түрі.

Бұл стратегияны келесі жолмен іске асыруға болады. Дестелер әдеттегі және тығыз кластарға бөлінеді. Содан кейін олар сәйкес таңба алады. Бұны хост-ақпарат көзі немесе кіріс (бірінші) маршруттауыш орындай алады. Бірінші нұсқаның артықшылығы – дестелердің ағындарға таратылуы жайлы ақпаратты ақпарат көзі әлдеқайда жақсы біледі. Дестелерді жіктеуді желілік ПЖ немесе операциялық жүйе орындай алады. Бұл қосымшаларға өзгеріс енгізуден бас тартуға мүмкіндік береді. Мысалы, қазір VoIP-десте жиірек хосттармен тығыз ретінде таңбаланады. Егер мұндай дестелер корпаративті желі арқылы тасымалданатын болса, онда олар

артықшылық жағдайда болады. Кері жағдайда таңбаның ешқандай теріс салдары болмайды.



5.32-сурет. Тығыз дестелер трафиктен бос желі арқылы жылжиды

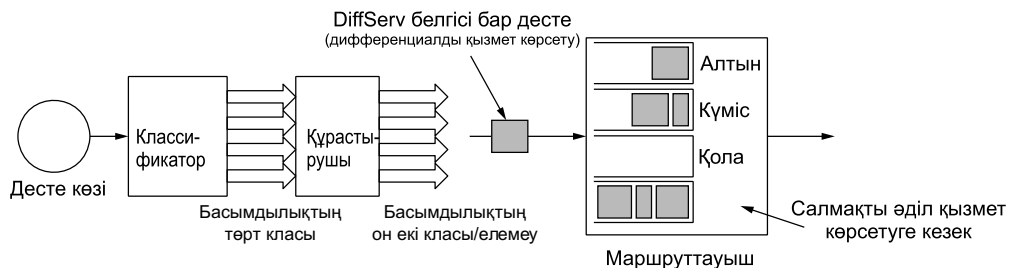
Әрине, егер десте таңбаны хостта алатын болса, онда кіріс маршруттауыш, тығыз трафик көлемі бекітілген шектен шықпайтынын тексереді. Желіде маршруттауыштар әр шығыс торап үшін екі кезекті пайдалануы мүмкін, әдеттегі және тығыз дестелер үшін. Келген десте өзінің қызмет көрсету класына сәйкес кезекке қойылады. Тығыз кезек басымдылығы, әдеттегі кезекке қарағанда әлдеқайда жоғары, бұны мысалы басымдылық диспетчері арқылы жүзеге асыруға болады. Сонымен, тығыз трафик желі бос және онда өмір жоқ деп ойлайды, алайда ол шамадан тыс жүктелген болуы мүмкін.

Кепілденген тасымалдау

Қызмет көрсету кластарын басқарудың жетілдірілген схемасы **кепілденген тасымалдау (assured forwarding)** деп аталады. Бұл стратегия RFC 2597 құжатында сипатталған. Кепілденген тасымалдауда төрт басымдылық класы бар, олардың әрқайсының өз ресурсы бар. Алғашқы үш класты алтын, күміс және қола класс деп атауға болады. Бұдан басқа, кептеліске түскен дестелерді қабылдамай тастаудың үш класы (төмен, орташа және жоғары) анықталған. Сонымен, барлығы 12 сәйкестік, 12 қызмет көрсету класы бар.

Кепілденген тасымалдау кезіндегі дестелерді өңдеудің бір тәсілі 5.33-суретте көрсетілген. Бірінші қадамда дестелер төрт басымдылық класына бөлінеді. Бұл процедура бұрынғыдай, хост-ақпарат көзінде (суретте көрсетілгендей) немесе бірінші маршруттауышта орындалады. Басымдылығы жоғары дестелердің жылдамдығын оператор, қызмет көрсету келісімі шеңберінде шектеуі мүмкін.

Келесі қадам – дестелерді қабылдамай тастау кластарын анықтау. Бұл үшін әр класс дестелері маркерлі шелек немесе басқа ұқсас схема арқылы тексеруден өтеді. Тексеру барысында, көлемі кіші дестелерге қабылдамай тастаудың төменгі класы беріледі, орташа дестелерге – орташа класс, ал мөлшері үлкен дестелерге – жоғары. Басымдылық және қабылдамай тастау кластары жайлы ақпарат әр дестеде кодталады.



5.33-сурет. Деректер ағынын кепілденген тасымалдаумен жүзеге асыру мүмкіндігі

Соңында, дестелер желі маршруттауыштарында өңдеуден өтеді, мұнда диспетчер олардың кластарын анықтайды. Төр басымдылық класы үшін жиірек салмақты әділ қызмет көрсету тәсілі қолданылады: класс жоғары болған сайын, салмақ та жоғары. Нәтижесінде, басымдылығы жоғары дестелер өткізгіштік қабілеттіліктің үлкен бөлігін алады, алайда басымдылығы төмен дестелерді жөнелту тоқтамайды. Мысалы, әр класс салмағы, басымдылығы төмен класс салмағынан екі есе үлкен болуы мүмкін. Бір басымдылық класы шеңберінде қабылдамай тастау класы жоғары дестелер бірінші болып жойылады. Бұл, мәселен, біз 5.3.5-бөлімде қарастырған, кездейсоқ ерте анықтау (RED) кезінде қажет болуы мүмкін. Кездейсоқ ерте анықтау, маршруттауыш буферінде орын болмай қалған ерте, дестелерді жоя бастайды. Қабылдамай тастау класы төмен дестелер әлі де қабылданады, ал жоғарысы – жойылады.

5.5. ЖЕЛІЛЕРДІ БІРІКТІРУ

Біз осы уақытқа дейін, анық емес түрде әр деңгейде әрбір машина бір хаттаманы пайдаланатын жалғыз біркелкі желі бар екенін болжап келдік. Өкінішке орай, бұл болжау тым оптимисті. Желілердің көптеген түрлері бар: дербес, жергілікті, аумақтық және ауқымды. Біз бұған дейін Ethernet, кабельді Интернет желісі, тұрақты және мобильді телефон желілері, 802.11, 802.16 стандарттары және т.б. жайлы айттық. Бұл желілердің әр деңгейінде көптеген және әртүрлі хаттамалар қолданылады. Келесі бөлімдерде, **интержелі (internetwork)** немесе қарапайым – **интернет (internet)**¹ құрастыратын, екі немесе оданда көп желілерді біріктіргенде туындайтын сұрақтарға аса назар аударатын боламыз.

Егер барлығы бір желілік технологияны пайдаланса, желілерді біріктіру әлдеқайда жеңіл болушы еді. Көптеген жағдайда басым желі (мысалы, Ethernet) бар. Кейбір ғалымдар, желі түрлерінің алуан түрлі болуы уақытша деп есептейді, барлығы [өзіңіздің сүйікті желіңіздің атын қойыңыз] желісінің қандай тамаша екенін түсінгенде, желі алуан түрлі болудан қалады. Бұған сенудің қажеті жоқ.

¹Сәйкесінше, Интернет (Internet, немесе кейде «Интернет желісі» немесе «Internet желісі» деп айтылады) – бұл ең танымал интержелі немесе «қарапайым айтқанда» – ең танымал интернет. – Редактор ескертпесі

Бұндай пайымдау – тілекті нақтылық ретінде қабылдау болып келеді. Әртүрлі желілерге әртүрлі қиындықтармен қақтығысуға тура келеді, сондықтан мысалы Ethernet және спутниктік желі әрқашан ерекше болады. Мәселен, деректер тасымалдау желісін құрастырғанда қолданыстағы жүйелерді (кабельді, телефон желісі және электр қоректендіру желілері) пайдалану, желі сипаттамасын өзгертетін қосымша шектеулерге әкеледі. Бірақ, бұл жағдайда біркелкілік сақталуы тиіс.

Егер желілер үнемі әртүрлі болатын болса, онда бізге оларды ешуақытта біріктірмеген қажет емес болса дұрыс болар еді. Боб Меткальф мынадай принципті ұсынды: N түйіннен тұратын желінің бағалылығы, түйіндер арасындағы байланыстар санына пропорционал, немесе N^2 (Gilder, 1993). Бұл, үлкен желілер, кішіге қарағанда әруақытта бағалы дегенді білдіреді. Сондықтан, әрқашанда желілерді біріктірудің мағынасы бар.

Мұндай біріктірудің негізгі мысалы – Интернет. Бұл желілердің барлығын біріктірудің мақсаты, желі тұтынушыларына кез келген басқа желі тұтынушыларымен әрекеттесуге мүмкіндік беру. Интернет-қызмет бағасы жиі қолжетімді өткізгіштік қабілеттілікке байланысты. Іс жүзінде, сіз Интернетке қосылған басқа хосттармен десте алмасу мүмкіндігі үшін төлейсіз. Егер, дестені тек бір қалада орналасқан хосттар арасында ғана жөнелту мүмкін болса, Интернет мұншалықты танымал болмас еді.

Желілер жиі тым ерекше болып келетіндіктен, бір желіден екіншісіне дестені тасымалдау оңай есеп емес. Тегіс еместік мәселесінен басқа, осындай интержелінің көлемінің үлкею мәселесін шешуге тура келеді. Біздің немен қақтығысатынымызда білу үшін, алдымен желілердің немен ерекшеленетінін білу керек. Сонан кейін біз, Интернет желісінің желілік деңгейінің IP (Internet Protocol) хаттамасының табыспен қолданылатын амалын қарастырамыз. Біз бұл жерде желідегі туннельдендіру, маршруттау дестелерді фрагменттеу әдістері жайлы айтамыз.

5.5.1. Желілер ерекшелігі

Желілер бір-бірінен қатты және түрлі параметрлер бойынша ерекшеленуі мүмкін. Кейбір параметрлер, мысалы, модуляция әдісі немесе кадрлар форматы физикалық және арналық деңгейге қарасты болғандықтан, қазір бізді қызықтырмайды. Желілік деңгейде кездесетін кейбір параметрлер 5.4-кестеде келтірілген. Осы параметрлерді тегістеу, біріктірілген желі жұмысын қамтамасыз етуді бір желі жұмысын қамтамасыз етуден күрделі етеді.

Дестелерге бірнеше желіден өту керек болған кезде, желі арасындағы интерфейске байланысты көптеген мәселелер туындауы мүмкін. Біріншіден, дестені жөнелтушіден қабылдаушыға жөнелту мүмкіндігі болу керек. Егер жөнелтуші Ethernet желісінде, ал қабылдаушы WiMAX желісінде болса не істеу керек? Тіпті біз Ethernet желісінде WiMAX-ғы тағайындалған адресті көрсете алсақ та, дестені байланысты қажет етпейтін желіден, байланысқа бағытталған желіге жөнелту керек. Онда, тез арада жаңа байланыс орнату керек болуы мүмкін. Бұл кідіріске

және ресурстарды тиімсіз пайдалануға әкеледі, себебі бұл байланыс үнемі қолданылмайды.

Бұдан да басқа көптеген ерекшеліктер бар және олардың барлығына бейімделуге тура келеді. Мысалы, желіде орналасқан, көп адресі таратуды қолдамайтын топ мүшелеріне десте қалай жөнелту керек? Әртүрлі желілердегі дестелердің ең үлкен мөлшерінің әртүрлі болуы, бұл да үлкен бас ауруы. Дестенің ең үлкен көлемі 1500 байтты құрайтын желіге 8000 байттық дестені қалай жөнелтуге болады? Байланысқа бағытталған желі дестесі байланысты қажет етпейтін желіден өту керек болғанда рет бұзылуы мүмкін. Жөнелтуші үшін бұл күтпеген (жағымсыз) жағдай болуы мүмкін, дегенмен қабылдаушы үшін де.

5.4-кесте

Желі ерекшеліктерінің кейбір аспектілері

Аспект	Мүмкін мәндері
Ұсынылатын сервис	Байланысқа бағытталған немесе байланысты қажет етпейтін
Адресітеу	Әртүрлі көлемдер, жалпақ немесе иерархиялық
Кеңтарату	Ішінде бар немесе жоқ (сонымен бірге көп адресі тарату)
Десте мөлшері	Әр желінің өз ең үлкен мөлшері бар
Реттеу	Реттелген немесе реттелмеген жеткізу
Қызмет көрсету сапасы	Болуы да болмауы да мүмкін. Түрлері көп
Сенімділік	Әртүрлі деңгейдегі жоғалулар
Қауіпсіздік	Құпиялық ережесі, шифрлау және т.б.
Параметрлер	Әртүрлі кезеңдер, ағын спецификасы және т.б.
Тарифтеу	Байланысу уақыты бойынша, десте үшін, байттар үшін немесе басқаша

Сонда да, мұндай алуан-түрлілікті көтеруге болады. Мысалы, екі желі қосылатын жердегі шлюзде, әртүрлі тағайындалған адресстер үшін дестелер көшірмесін жасап, көп адресі таратуды баламалауға болады. Ірі дестелерді бөліктерге бөліп, кейіннен қайта біріктіруге болады. Қабылдаушы құрылғы дестелерді буферге орналастырып, кейіннен дұрыс ретте жеткізеді.

Алайда, желілер көтеру әлдеқайда қиын аспектілермен ерекшеленуі мүмкін. Ең айқын мысал – қызмет көрсету сапасы. Егер бір желі қызмет көрсетудің жоғары деңгейін ұсынса, екіншісі – мүмкін деген ең жақсы деңгейді ұсынуы мүмкін. Мұндай жағдайда толассыз өткізгіштік қабілеттілікті және кідірісті қамтамасыз ету мүмкін емес. Іс жүзінде, бұл тек екінші желі баяу режимде немесе тіпті қолданбайтын болғанда ғана мүмкін, ал мұндай жағдайдың болу ықтималдығы төмен. Қауіпсіздік механизмі де қиындық туындатады. Бірақ, оны қолдайтын

желілерде, кем дегенде құпиялық мақсатында шифрлауды және деректер бүтіндігін қамтамасыз етуге болады. Соңында, тарифтеу айырмашылығы, қапарайым операция үшін күтпеген үлкен есепшот себебі болуы мүмкін – бұл мобильді телефон тұтынушыларына, роуминг аймағында жиі кездесетін жағдайлар.

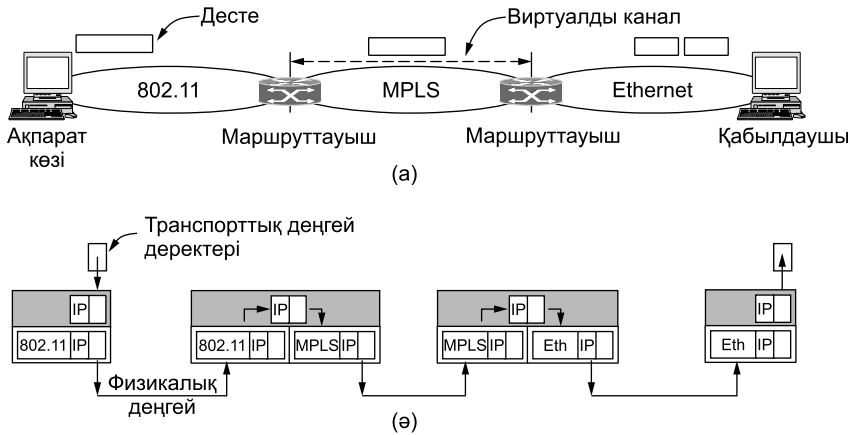
5.5.2. Желілерді біріктіру тәсілдері

Әртүрлі желілерді біріктірудің екі негізгі тәсілі бар. Дестелерді кез келген желіден басқа желіге ауыстыра алатын, арнайы құрылғы құрастыруға болады. Немесе осы саладағы жақсы маман ретінде, біз бұл мәселені тағы бір жанама адресстеу деңгейін қосу арқылы желі-үсті деңгей құрастырамыз. Екі жағдайда да құрылғы желілер шекарасында орналасуы керек.

Қазіргі әртүрлі желілердің ерекшеліктерін тегістейтін, ортақ қабатты құрастыру идеясын Серф және Кан (1974) ұсынған болатын. Бұл амал шексіз табысқа ие болып, IP және TCP хаттамаларында қолданыла бастады. Қазір, қырық жылдан астам уақыт өтсе де, IP қазіргі Интернет желісінің негізін құрайды. Осы жетістіктері үшін 2004 жылы Серф және Кан, бейресми информатика саласындағы Нобель сыйлығы деп аталатын, Тьюринг сыйлығына ие болды. IP, кез келген маршруттауыш ажырата алатын және іс жүзінде кез келген желіге жөнелте алатын, дестелердің әмбебап формасын пайдаланады. IP әрекеті телефон желілеріне де таралады. Сонымен бірге, IP қазір сенсорлық желілер мен кіші құрылғыларда да жұмыс жасайды, алайда ертеде ресурстардың шектеулілігінен мұндай қолдау мүмкін емес деп саналған болатын.

Біз желілерді біріктіретін құрылғылардың бірнеше түрі жайлы айттық. Олардың ішінде қайталауыштар, концентраторлар, көпірлер, коммутаторлар және шлюздер. Қайталауыш пен концентратор биттерді бір кабельден екіншісіне тек жай ауыстырумен айналысады. Бұлар жиі аналогтық құрылғы болып келеді, олар жоғары деңгей хаттамалары жайлы хабарсыз. Көпір мен коммутатор арналық деңгейде жұмыс жасайды. Ол желі құрастыру үшін пайдаланылуы мүмкін және хаттамаларға кішігірім өзгеріс енгізе алады, мысалы, жылдамдығы 10, 100 және 1000 Мбит/с Ethernet желілері арасында. Бұл бөлімде, біз желілік деңгейде, желіарарлық әрекет құрылғысы – маршруттауышты қарастырамыз. Жоғары деңгейлік интеркоммуникациялық құрылғы болып саналатын шлюздер кейінірек қарастырылады.

Алдымен, ортақ желілік қабаттың әртүрлі желілерді біріктіріп, әрекеттестіру үшін қалай қолданылатынын қарастырайық. 5.34 *a-суретінде* 802.116 MPLS және Ethernet желілерінен тұратын интержелі бейнеленген. Айталық, 802.11 желісінде орналасқан ақпарат көзі, Ethernet желісінде орналасқан қабылдауышқа десте жөнелткісі келді делік. Бұл желілерде десте жөнелту технологиясы әртүрлі және дестеге басқа типтегі желі (MPLS) арқылы өтуге тура келеді. Сондықтан десте желілер шекарасында қосымша өңдеуден өтуі керек.



5.34-сурет. Желіаралық қабат арқылы әрекеттесу: а – десте әртүрлі желілер арқылы өтеді; ә – хаттаманың желілік және арналық деңгей арқылы өтуі

Әдетте, әртүрлі желілер түрлі адрестеу әдістерін пайдаланатын болғандықтан, дестеде кез келген желінің хост сәйкестендіріе алатын, желілік қабат адресі жазылады. Алдымен десте 802.11 және MPLS желілерінің шекарасына келеді. 802.11 желісі байланысты қажет етпейді, ал MPLS, керісінше, байланысқа бағытталған. Бұл виртуалды арна құрастыру керек дегенді білдіреді. Десте бұл виртуалды арна арқылы Ethernet желісінің шекарасына жетеді. Бұл сатыда десте тым үлкен болуы мүмкін, себебі 802.11 желісі, Ethernet желісіне қарағанда, мөлшері үлкен кадрлармен жұмыс жасайды. Бұл жағдайда десте фрагменттерге бөлінеді. Фрагменттер жеке-жеке жөнелтіледі. Тағайындалған адреске жеткен кезде фрагменттер қайта біріктіріледі. Осылайша дестенің саяхаты аяқталады.

Бұл саяхат үшін хаттаманың орындалуы 5.34 ә-суретінде көрсетілген. Жөнелтуші деректерді транспорттық деңгейден алып, ортақ желілік деңгей тақырыбы бар десте құрастырады – біздің жағдайда IP. Тақырыпта, дестенің бірінші маршруттауыш арқылы жөнелтілуі керек екені көрсетілген, соңғы тағайындалған адрес жазылады. Десте 802.11 кадырына, бірінші маршруттауыш адресі енгізіліп, жөнелтіледі. Маршруттауышта кадрдың деректер өрісінен десте алынады. Ары қарай, маршруттауыш дестедегі IP-адресі сараптайды. Маршруттау кестесінен адресі іздеп тауып, соған сәйкес шешім қабылдап, дестені екінші маршруттауышқа жөнелту керек. Десте жолдың осы бөлігін өту үшін, екінші маршруттауышқа апаратын MPLS виртуалды арнасын қосу керек. Ал, десте MPLS тақырыбымен кадрға біріктіріледі. Қарсы бетте, адрес негізінде желілік деңгейдің келесі транзиттік аумағы анықталып, MPLS тақырыбы жойылады. Бұл аумақ соңғы тағайындалған адреске әкеледі. Десте, Ethernet желісі үшін тым ұзын болғандықтан, ол екі бөлікке бөлінеді. Бөліктердің әрқайсысы Ethernet кадрының деректер өрісіне орналастырылып, тағайындалған адреске жөнелтіледі. Ол жеткен кезде кадр тақырыбы оқылып, бастапқы десте қалпына келтіріледі. Десте

тағайындалған адреске жетеді. Коммутациялау (көпір орнату) және маршруттау жағдайының елеулі айырмашылығы бар екенін айта кету керек. Маршруттаушыты пайдаланған кезде десте кадрдан алынады және шешім қабылдау үшін дестеде көрсетілген адрес қолданылады. Коммутатор (көпір), өз шешімін MAC-адреспен негіздеп, бүкіл дестені жөнелтеді. Коммутаторға, коммутация жүргізілетін, желілік деңгей хаттамасы құрылымының байыбына бару міндетті емес. Ал маршруттаушы – міндетті.

Өкінішке орай, желілерді біріктіру – алғашқыда көрінгендей, оңай мәселе емес. Көпірлер енгізілген кезде, олар әртүрлі желілерді біріктіреді немесе кем дегенде, бір ЖЕЖ кадрын екіншісіне түрлендіріп, әртүрлі жергілікті желілерді біріктіреді деп болжалды. Алайда, іс жүзінде бұл жұмыс жасалмады. Себеп қарапайым: ЖЕЖ қасиеттеріндегі, дестенің ең үлкен мөлшері және басымдылық класстарының бары/жоғы тәрізді айырмашылықтармен күресу мүмкін емес. Сондықтан көпірлер қазірде көбіне, арналық деңгейде, бір типті желілерді біріктіру үшін пайдаланылады. Желілік деңгейде әртүрлі желілерді біріктіру үшін маршруттаушы пайдаланылады.

Желілерді біріктіру, ірі желілерді құрастыру барысында қолданысқа ие болды. Компьютерлік желілер пайда болғалы бері әртүрлі көптеген хаттамалар құрастырылды. Барлығын тек бір форматты қолдануға мәжбүрлеу мүмкін емес, әсіресе, егер әр компания өз форматын құрастырып, кеңінен таратуды, өзінің ең үлкен жетістігі деп санайтынын ескерсек. Қазіргі кезде әмбебап желілік хаттама болып саналатын IP-дан басқа, IPX, SNA және AppleTalk хаттамалары бар. Бұл хаттамалардың ешқайсысы барлық жерде қолданылады деп айтуға болмайды. Әр кезде жаңа хаттамалар пайда болатын болады. Қазір ең дұрыс мысал – IPv4 және IPv6. Бұлардың екеуі де IP версиялары, олар үйлесімсіз (олай болмаса, IPv6 құрастырудың қажеті болмас еді).

Бірнеше хаттаманы қолдайтын маршруттаушы **мультихаттамалы маршруттаушы (multiprotocol router)** деп аталады. Ол не хаттамаларды түрлендіруі, не жоғары деңгей хаттамасы деңгейінде байланысты қамтамасыз етуі керек. Аталған екі нұсқа да желінің барлық талаптарына жауап бермейді. Жоғары деңгейде байланысу, мысалы, TCP қолданып, TCP-ның барлық желіде жүзеге асырылғанын қажет етеді (көп жағдайда ол бола бермейді). Одан бетер, бұл жағдайда желіні тек TCP қолданатын қосымшалар ғана пайдалана алады (нақты уақыт режимінде жұмыс жасайтын көптеген қосымшалар олардың қатарына жатпайды).

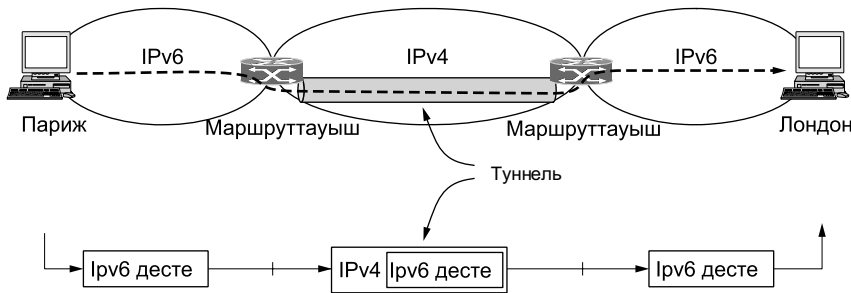
Балама нұсқа – әртүрлі желі хаттамаларын түрлендіру. Алайда, егер дестелер форматы ұқсас, ақпараттық өрістері бірдей болмаса, түрлендіру толық болмайды және қателіктерден қашып құтылмаймыз. Мысалы, IPv6-адресінің ұзындығы 128 битті құрайды. Маршруттаушы қанша тырысса да, мұндай адресі IPv4-ның 32 биттік адрес өрісіне сыйдыра алмайды. IPv4 және IPv6 бір желіде пайдалану мәселесі, IPv6 енгізуде күрделі кедергі болды. (Шынын айтсақ, осы себептермен тұтынушыны IPv6 пайдалануға сендіре алмадық). Ал егер, принципиалды әртүрлі хаттамаларды түрлендіру керек болса, бұдан да күрделі мәселе туындайды, мысалы, байланыс орнатуға бағытталған хаттама және байланысты қажет етпейтін

хаттама. Сондықтан іс жүзінде мұндай түрлендірулер орындалмайды. IP, тек, баламалы түрде, ең кіші ортақ бөлгіш рөлін атқарғандықтан ғана табысты болып отыр. Ол желіден көп ештеңе талап етпейді, алайда мүмкін деген қызмет сапасының ең жақсысын ұсынады.

5.5.3. Туннельдеу

Жалпы алғанда желілерді біріктіру өте күрделі мәселе. Алайда, тіпті әртүрлі желілік хаттамалар үшін де жүзеге асыруға болатын жеке жағдай бар. Бұл, хост-жөнелтуші және хост-қабылдаушы бір типті желіде орналасатын жағдай, бірақ олардың арасында басқа типтегі желі бар. Мәселен, өздеріңізге *5.35-суретте* көрсетілген, бір IPv6 желісі Париж қаласында, екіншісі Лондон қаласында орналасқан, халықаралық банкті елестетіңіз.

Бұл мәселені шешу тәсілі **туннельдеу (tunneling)** деп аталады. Лондондағы хостқа IP-десте жөнелту үшін, Париждегі хост, лондондық IPv6-адресі бар десте құрастырып, оны париждік IPv6 және IPv4 желіні біріктіретін маршруттауышқа жөнелтеді. Маршруттауыш IPv6 дестені алып, оны IPv4 желісі және лондондық IPv6 желісін байланыстыратын, IPv4 маршруттауыш адресі бар басқа дестеге орналастырады. Десте осы адреске жеткенде, лондондық көпхаттамалы маршруттауыш бастапқы IPv6-дестені алып, тағайындалған хостқа жөнелтеді.

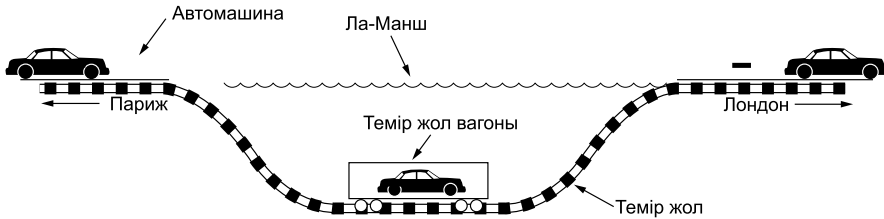


5.35-сурет. Парижден Лондонға баратын дестені туннельдеу

IPv4 арқылы өтетін жолды, бір көпхаттамалы маршруттауыштан екінші көпхаттамалы маршруттауышқа дейінгі үлкен туннель ретінде қарастыруға болады. Әдемі қаптамаға салынған IPv6-десте, туннельдің бір басынан екінші басына жылжиды. Оған IPv4 желісімен әрекеттесу жайлы ойлаудың қажеті жоқ. Бұл Париж және Лондон хостарына қатысты. Бұл үшін оларға IPv4- және IPv6-дестелерімен жұмыс жасай білу міндетті емес. Нәтижесінде, бір көпхаттамалы маршруттауыштан екіншісіне дейінгі бүкіл жол толығымен бір транзиттік аумақ тәрізді болады.

Бұл мысалды бұдан да қарапайым және түсінікті ету үшін, балама ретінде, Парижден Лондонға жол тартқан автомобиль жүргізушісін алайық. Франция

шенберінде автомашина өзі жүреді. Ал Ла-Маншқа жеткеннен кейін, ол жоғары жылдамдықты пойызға орналастырылып, бұғаз туннелі арқылы өтеді (автомобильдерге туннель арқылы өтуге тыйым салынады). Сонымен, автомобиль жүк ретінде тасымалданады (5.36-суретті қараңыз). Туннельдің поезддан түсіріліп, ағылшын шоссесімен өзі жүріп, жолды жалғастырады. Дәл осы тәсіл, басқа типті желі арқылы өткенде, дестелерді туннельдеу үшін қолданылады.



5.36-сурет. Парижден Лондонға баратын автомобильді туннельдеу

Туннельдеу, оқшауланған хост және желілерді делдал-желі арқылы байланыстырғанда кеңінен қолданылады. Нәтижесінде, ескі желі үстіне қойылып, жаңа желі пайда болады. Мұндай желі **оверлейлік желі (overlay)** деп аталады. Желілік хаттаманы жаңа қасиетпен пайдалану (біздің мысалымызда, IPv6 желісі IPv4 желісімен байланысады) – кең таралған себеп. Туннельдеу кемшілігі: десте делдал-желіде орналасқан хосттардың ешқайсына жеткізілмейді. Алайда, бұл кемшілік, **VPN (Virtual Private Network – жеке виртуалды желі)** желілерінде ақтықшылық болады. VPN – қауіпсіздік шарасы ретінде пайдаланылатын, әдеттегі оверлейлік желі. VPN жайлы толығырақ біз 8-тақырыпта айтамыз.

5.5.4. Біріккен желілердегі маршруттау

Интержелідегі маршруттау, сол біртұтас желідегі маршруттау мәселелерімен қақтығысады, бірақ тағы да қосымша күрделіктермен байланысты. Мысалы, әртүрлі маршруттау алгоритмдерін қолданатын екі желіні қарастырайық: торп қалып-күйін есепке ала отырып маршруттау және арақашықтық векторы бойынша маршруттау. Бірінші жағдайда алгоритмдегі желі топологиясы жайлы ақпарат қажет, ал екіншіде – қажет емес. Бұндай интержеліде ең қысқа жолды қалай есептейтініміз түсініксіз.

Егер желі жұмысын әртүрлі операторлар қамтамасыз етсе, бұдан да күрделі мәселелер туындайды. Біріншіден, олар ең жақсы жол дегенді әрқайсысы өзінше түсінеді: біреуі кідіріс уақытына назар аударады, ал екіншісі – маршрут бағасына.

Нәтижесінде, ең қысқа жол бағасы әртүрлі бірлікпен өлшенеді: сәйкесінше миллисекундпен немесе ақшалай бірлікпен. Салыстыру мүмкін болмағандықтан, ең қысқа жолды есептеу қиынға түседі.

Бұдан бетер, оператор өз желісіндегі барлық жолдар жайлы мәліметті басқа операторға бермеуі мүмкін, себебі онда бәсекелестік тартыста маңызды құпия ақпарат (мысалы, баға) болуы мүмкін.

Соңында, интержелі, оның құрамына кіретін бөліктен әлдеқайда үлкен болуы мүмкін. Бұл жағдайда, иерархияны есепке алатын маршруттау алгоритмі қажет болады, тіпті жеке желілерде мұндай қажеттілік жоқ болса да.

Сонымен, бізге екі сатылы маршруттау алгоритмі қажет. Әр желі шеңберінде **доменишілік (intradomain)** немесе **ішкі шлюздік хаттама (interior gateway protocol)**; ертеде «шлюз» термині «маршруттауыш» терминінің орнына пайдаланылған) қолданылады. Бұл әдеттегі, торап қалып-күйін есепке алатын хаттама болуы мүмкін. Желілер арасында **домен аралық (interdomain)** немесе **сыртқы шлюздік хаттама (exterior gateway protocol)** қолданылады. Желілер әртүрлі доменишілік хаттама пайдалануы мүмкін, бірақ домен аралық хаттама ортақ болуы тиіс. Интернет желісінде домен аралық хаттама **BGP (Border Gateway Protocol – желі арасындағы шекаралық хаттама)** деп аталады. Ол жайлы біз келесі бөлімде айтамыз.

Мұндай тағы бір маңызды түсінік жайлы айта кету керек. Барлық желілер тәуелсіз басқарылатын болғандықтан, олар жиі **АЖ – автономды жүйелер (AS – Autonomous System)** деп аталады. Жақсы АЖ моделі – ISP желісі. Іс жүзінде ISP желісі, егер тәуелсіз басқарылатын болса, бірнеше АЖ тұруы мүмкін. Бірақ ерекшелік соншалықты маңызды емес.

Бұл екі деңгей қатаң түрде иерархиялық болып саналмайды. Егер, ірі халықаралық желіні кішігірім аумақтық желімен біріктірсе, жол оңтайлыға жақын болуы мүмкін. Алайда, интержеліде маршрутты есептеу үшін, жеке желілер өз маршруттары жайлы өте аз мағлұмат береді. Бұл барлық қиындықтарды жеңіп шығуға мүмкіндік береді. Нәтижесінде, желіні масштабтау жақсарады, ал операторлар өз желілері ішінде маршруттау хаттамасын таңдауда ешкімге тәуелсіз. Бұдан басқа, әртүрлі желілерде пайдаланылатын салмақтарды салыстырып, құпия ішкі ақпаратқа қолжеткізудің қажеті жоқ.

Осы уақытқа дейін біз интержеліде маршруттың қалай есептелетіні жайлы сөз қозғаған жоқпыз. Интернетте негізгі анықтаушы фактор, ISP желілерінің арасындағы ынтымақтастық. Әр желі басқа желі трафигі үшін баға тағайындай алады. Тағы бір фактор, егер біріккен желідегі маршруттау мемлекеттік шекарадан өтуді қажет етсе, ойынға кенеттен осы мемлекет заңдары кірісуі мүмкін. Мысалы, Швецияда азаматтардың жеке деректері қатаң қорғалады. Осындай барлық сыртқы факторлар **маршруттау саясаты (routing policy)** деген түсінікке біріктіріледі. Автономды желілер маршрутты осы түсінікке негізделе отырып таңдайды. Бұл түсінікке BGP жайлы айтқандай қайтып ораламыз.

5.5.5. Дестелерді фрагменттеу

Барлық желілер және арналар өз дестелерінің мөлшеріне шектеу қояды. Бұл шектеулер көптеген себептерге байланысты, соның ішінде:

1. Аппараттық (мысалы, Ethernet кадрының мөлшері).
2. Операциялық жүйе (мысалы, барлық буферлердің мөлшері 512 байт).
3. Хаттамалар (мысалы, десте ұзындығы өрісіндегі биттер саны).
4. Қандай да бір халықаралық немесе ұлттық стандартқа сәйкес болу.
5. Тасымалдау қателігі себебінен қайта жөнелтілетін дестелер санын төмендету тілегі.
6. Бір десте арнаны ұзақ уақыт алатын жағдайды болдырмау тілегі.

Осы барлық факторлар әрекетінің нәтижесі, құрастырушылар дестенің ең үлкен мөлшерін өз қалауынша таңдай алмайды. Пайдалы жүкеме өрісінің ең үлкен мөлшері, Ethernet желісі үшін 1500 байтты және 802.11 желісі үшін 2272 байтты құрайды. IP хаттамасы әлдеқайда жомарт: десте мөлшері 650515 байтқа дейін жетуі мүмкін.

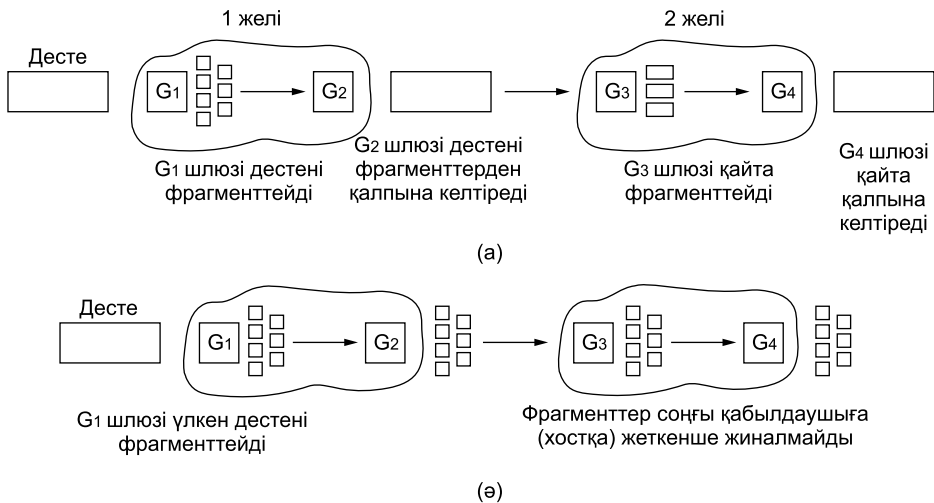
Әдетте хосттар ірі дестелерді жөнелтуге тырысады, себебі бұл шығынды төмендетеді – мысалы, тақырыпта үнемдеуге болады. Бірақ үлкен мөлшердегі десте, дестенің ең үлкен мөлшері кіші желі арқылы өтпек болғанда қиындық туындайды. Бұл мәселе ұзақ уақыт өзекті болып келді. Оның шешімі, көбіне Интернет желісінен алынған тәжірибе негізделген.

Шешімнің бірі, о баста мәселені туындатпау. Бірақ бұны айту оңай. Әдетте жөнелтуші, дестенің қандай жолмен баратынын білмейді, сондықтан, ол тағайындалған адреске жету үшін дестенің мөлшері қандай болу керек екенін білмейді. Дестенің мұндай мөлшері **MTU жолдық мәні (Path Maximum Transmission Unit – таңдап алынған жол үшін дестенің ең үлкен мөлшері)** деп аталады. Жөнелтушінің MTU жолдық мәнін білетіндігі маңызды емес. Байланысты қажет етпейтін желіде (Интернет тәрізді), десте маршруты кез келген жағдайда тәуелсіз таңдалады. Бұл, MTU жолдық мәні өзгергенде, жол кенеттен өзгеруі мүмкін дегенді білдіреді.

Мәселенің балама шешімі, шлюздерге дестені **фрагменттерге (fragments)** бөліп, әр фрагментті жеке желілік деңгей дестесі ретінде жөнелтуге рұқсат беру. Алайда, кез келген кішкентай баланың ата-анасы айтатындай, үлкен объектіні кішкене фрагменттерге түрлендіру, кері үрдіске қарағанда әлдеқайда жеңіл. (Физиктер бұл әсерге тіпті арнайы атау берген: термодинамиканың екінші заңы). Дестелерді коммутациялауы бар желілерде, дестені фрагменттерден қайта қалпына келтіру мәселесі бар.

Фрагменттерден бастапқы дестені қалпына келтіру үшін екі қарама-қарсы стратегия пайдаланылады. Бірінші стратегия, кіші мөлшердегі дестелерді қолданатын желі салдарынан туындаған фрагменттеу, осы дестелермен алмасатын екі хост үшін де ашық болуы керек. Бұл нұсқа *5.37 а-суретінде* көрсетілген. *G1*-ге үлкен мөлшердегі десте келген кезде, ол фрагменттерге бөлінеді. Әрбір фрагмент бір шығыс маршруттаушына *G2*-ге адрестеледі. Ол осы фрагменттерден бастапқы дестені қалпына келтіреді. Сонымен, деректердің десте мөлшері кішкене желі арқылы өтуі ашық болады. Көрші желілер, олардың қасында дестелер алдымен бөлшектеніп, кейіннен қайта біріктіріліп жатқанын білмейді де. Ашық фраг-

менттеу қарапайым, бірақ біраз мәселелер туындайды. Біріншіден, шығыс маршруттауыш соңғы фрагментті алғанын анықтай білуі керек. Сондықтан әр фрагментте санауыш өрісі, не десте соңы белгісі болуы керек. Бұдан басқа, бастапқы қалыпқа келтіру үшін барлық фрагменттердің бір маршруттауыштан шығуы, маршруттау мүмкіндігін шектейді. Сөйтіп, әр фрагментке қабылдаушыға дейін әртүрлі жолды пайдалануға тыйым салынады және нәтижесінде өнімділіктің бір бөлігі жоғалады. Бұдан бетер маңызды мәселе, маршруттауыш қандай әрекетті орындауы тиіс. Мүмкін оған барлық фрагменттерді буферге орналастырып, егер қандай да бір фрагмент жетпей қалса, қай кезде олардың барлығын жою керек екенін шешу қажет болар. Соңында, десте мөлшері кіші желілерден өткен сайын, дестені фрагментациялау және кейіннен қайта жинау үрдісі қосымша үстемелік шығынға әкеледі. Фрагменттеудің басқа стратегиясы – аралық маршруттауыштарда, дестені фрагменттерден қайта қалпына келтіруден бас тарту. Десте фрагменттерге бөлінгеннен кейін, әр фрагментпен жеке десте ретінде жұмыс жасалады. Фрагменттердің барлығы маршруттауыштардан 5.37-суретінде көрсетілгендей өтеді. Бастапқы дестені қалпына келтіру қабылдаушы хостқа жүктеледі.



5.37-сурет. Фрагменттеу: а – ашық; ә – ашық емес

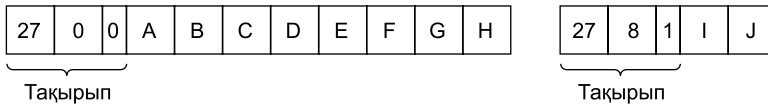
Ашық емес фрагменттеудің негізгі артықшылығы – маршруттауыштар аз жұмыс жасайды. IP осылайша жұмыс жасайды. Десте фрагменттері бастапқы ағын деректерін қалпына келтіре алатындай нөмірленуі керек. IP жағдайында, әр фрагментке десте нөмірі (әр дестеде бар), десте ішіндегі абсолютті ығысу (байтпен) және фрагменттің соңғы екенін көрсететін жалауша хабарланады. Осындай фрагменттеу мысалы 5.38-суретте көрсетілген. Схема қарапайым болғанымен, бірнеше артықшылығы бар. Тағайындалған орынға келген кезде фрагменттерді буферге кез келген ретте орналастыруға болады. Бұдан басқа, MTU мәні кіші

желіден өткен кезде фрагменттер одан да кіші фрагменттерге бөлінуі мүмкін. Бұл жағдай 5.38 б-суретінде көрсетілген. Қайта жөнелту кезінде (егер фрагменттер адресатқа жетпесе) десте фрагментке басқаша бөлінуі мүмкін. Сонымен бірге, фрагмент мөлшері еркін, тіпті бір байт және тақырып болуы мүмкін. Кез келген жағдайда десте қайта қалпына келтіріледі: десте нөмірі және ығысу деректерді дұрыс ретпен орналастыруға мүмкіндік береді, ал жалауша десте соңын көрсетеді.

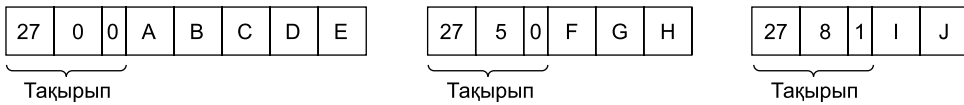
Осы дестедегі бірінші элементар фрагмент нөмірі



(a)



(ә)



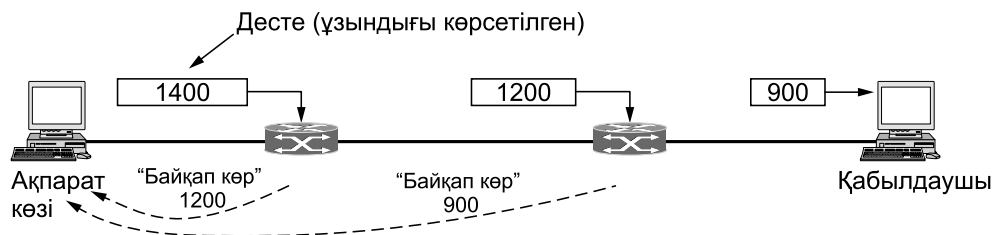
(б)

5.38-сурет. Элементар 1 байт мөлшерінде фрагменттеу: а – 10 байт деректен тұратын бастапқы десте; ә – ең үлкен мөлшері 8 байт желіден өткен кездегі фрагменттер; б – мөлшері 5 шлюз арқылы өткен кездегі фрагмент

Өкінішке орай, бұл схеманың кемшілігі бар. Біріншіден, бұл ашық фрагменттеуге қарағанда шығынды болуы мүмкін, себебі кейде фрагменттер тақырыбы керек емес жерде оны байланыс арқылы береді. Алайда, негізгі мәселе фрагменттердің өзінде. Kent және Mogul (1987) фрагменттеу өнімділік зарына жұмыс жасайды деп санайды, себебі бір фрагмент жоғалса, бүкіл десте жоғалады (тақырып шығындарын есептемегенде). Хосттар үшін фрагменттер баста болжағаннан да ауыр жүк болды.

Сонымен, бастапқы ойға, желіде фрагменттеуден толық бас тартуға қайтып келдік – қазіргі Интернетте қолданылатын стратегия. Бұл үрдіс **MTU жолдық мәні** іздеу (**Path MTU discovery**) деп аталады (Mogul Deering, 1990). Ол былайша жұмыс жасайды: әр IP-дестені жөнелткенде оның тақырыбына фрагменттеу рұқсат етілмеген деген таңба қойылады. Егер маршруттауыш тым үлкен десте алатын болса, онда ол жөнелтушіге мәлімдеме жіберіп, дестені жояды (5.39-сурет). Мәлімдемеде қателік жайлы жазылған ақпаратқа сүйене отырып, жөнелтуші

деректерді маршруттауыштан өтетіндей етіп қайта құрастырады. Егер осы жағдай келесі маршруттауыштардың бірінде тағы орын алса, жағдай қайта қайталанады.



5.39-сурет. MTU жолдық мәнін іздеу

MTU жолдық мәнін іздеудің артықшылығы, нәтижесінде жөнелтуші дестенің қажет мөлшерін біледі. Маршрут өзгерген кезде жаңа MTU жолдық мәні, жөнелтушіге қателік жайлы жаңа мәлімдемеден белгілі болады. Алайда, егер MTU жолдық мәні жоғары деңгейде есептеліп, IP берілмесе, жөнелтуші және қабылдаушы арасында фрагменттеу бәрібір қажет болады. Бұл мүмкін болу үшін әдетте TCP және IP бірге пайдаланылады (TCP/IP түрінде). Кейбір хаттамалар үшін бұл әлі жүзеге асырылмаса да, фрагменттеу желіден хостқа ауыстырылды.

MTU жолдық мәнін іздеу технологиясының кемшілігі, дестені жөнелту қосымша кідіріске әкелуі мүмкін. Бұл кідіріс, десте тағайындалған адреске жеткенше, жөнелтушінің неше рет қайта жөнелтетіндігіне байланысты (десте мөлшерін өзгертіп), бірнеше есе өсуі мүмкін. Сәйкесінше, сұрақ туындайды: тиімді схема бар ма? Бар болуы ықтимал. Мысалы, тым үлкен дестелер қысқартылып тасталатын нұсқаны қарастырайық. Бұл жағдайда қабылдаушы MTU жолдық мәнін, мүмкіндігінше ерте біледі (қабылданған десте мөлшерінен), сонымен бірге деректердің бір бөлігін.

5.6. ИНТЕРНЕТ ЖЕЛІЛІК ДЕҢГЕЙІ

Интернет желілік деңгейі жайлы толығырақ айтатын уақыт келді. Бұл мәселенің егжей-тегжейіне көшпес бұрын, Интернет желісінің бүгінгі табысын қамтамасыз еткен және бұрын негізін құраған принциптерімен танысқанымыз дұрыс болады. Қазіргі кезде адамдар оны көбіне ескермейді. Алайда, бұл принциптер нөмірленіп, RFC 1958 құжатына енгізілген, онымен танысу артық болмайды (ал желі құрастырушылар үшін міндетті түрде оқылып, емтихан тапсырулары қажет). Бұл құжат (Clark, 1988; Saltzer және басқалар, 1984) басылымдарда айтылған негізгі идеялардан тұрады. Төменде біз негізгі 10 принципті, ең негізгісінен бастап келтіреміз.

- 1. Жұмыс қабілеттілігіне көз жеткізіңіз.** Түпталғалар арасында бірнеше табысты байланыс өткізбейінше құрастырылымды (немесе стандартты) аяқталған деп санауға болмайды. Көбіне құрастырушылар алдымен мыңдаған парақтан тұратын стандарт сипаттамасын жазып, бекітіп, сонан кейін оның әлі шикі және жұмыс қабілетті емес екендігін анықтайды. Сонан кейін стандарттың 1.1-версиясы жазылады. Бұлай болмауы керек.
- 2. Жеңілдетіңіз.** Егер күмән бар болса, ең қарапайым таңдау ең жақсысы болып келеді. Уильям Оккам (William Occam) бұл принципті XIV ғасырда жариялаған («Оккама шайқасы»). Оны келесідей айтуға болады: Нысапсыздықпен күрес. Егер қандай да бір қасиет абсолютті керек болмаса, ол жайлы ұмытыңыз, әсіресе сол әсерді бар қасиеттер көмегімен алуға болатын болса.
- 3. Әруақытта айқын таңдау жасаңыз.** Бір затты жүзеге асырудың бірнеше жолы бар болса, оның біреуін таңдау қажет. Тәсілдер санын көбейту – теріс жол. Стандартта көбіне бірнеше опция, режим немесе параметр көруге болады. Неліктен бұлай болды? Тек, құрастыру кезінде не жақсы деген тақырыпқа бірнеше беделді пікір болғандықтан. Құрастырушылар бұдан бас тартып, осындай беталысқа қарсы тұрулары керек. Жәй «Жоқ» деп айтуды үйрену керек.
- 4. Модульді принципті пайдаланыңыз.** Бұл принцип тікелей, әрқайсы тәуелсіз деңгейлердің бірінде жұмыс жасайтын, хаттамалар стегі идеясына әкеледі. Сонымен, егер модульдердің бірін немесе деңгейді өзгерту керек болатын жағдай туындаса, бұл жүйенің басқа бөлігін қозғамайды.
- 5. Әрқелкілікті болжаңыз.** Кез келген үлкен желіде әртүрлі жабдықтар, деректерді тасымалдау құрылғысы және қосымшалар болуы мүмкін. Желілік технология осындай жағдайда жұмыс жасау үшін, мүмкіндігінше икемді, қарапайым және жалпылама болуы тиіс.
- 6. Қасиеттер мен параметрлердің тұрақты болуынан қашыңыз.** Егер қандай да бір міндетті параметр бар болса (мысалы, дестенің ең үлкен мөлшері), онда оны бекінгенше, жөнелтуші мен қабылдаушыны нақты мәні жайлы келісуге мәжбүрлеңіз.
- 7. Жоба жақсы болуы тиіс, бірақ ол мінсіз бола алмайды.** Құрастырушылар жиі жақсы жоба құрастырады, бірақ қандай да бір назды, жеке жағдайды ескере алмайды. Жақсы жасалып, көп жағдайда жұмыс жасайтын дүние бұзудың қажеті жоқ. Оның орнына, өзінің оғаш талабын қойғандарға жобаны «жақсарту» жауапкершілік жүгін артыңыз.
- 8. Деректер тасымалдауды егжей-тегжейлі ойластырыңыз, деректер қабылдауда аямпаз болмаңыз.** Басқа сөзбен айтқанда, тек стандарттың барлық талаптарына сәйкес келетін деректерді жөнелтіңіз. Сонымен бірге, келетін дестелер мінсіз емес, оларды өңдеу керек екенін ұмытпаңыз.
- 9. Масштабалуды ойластырыңыз.** Егер желіде миллион хост және миллиард тұтынушы жұмыс жасайтын болса, орталықтан басқаруды ұмытыңыз. Жүктеме, қолдағы бар ресурстар арасында мүмкіндігінше біркелкі таратылуы тиіс.

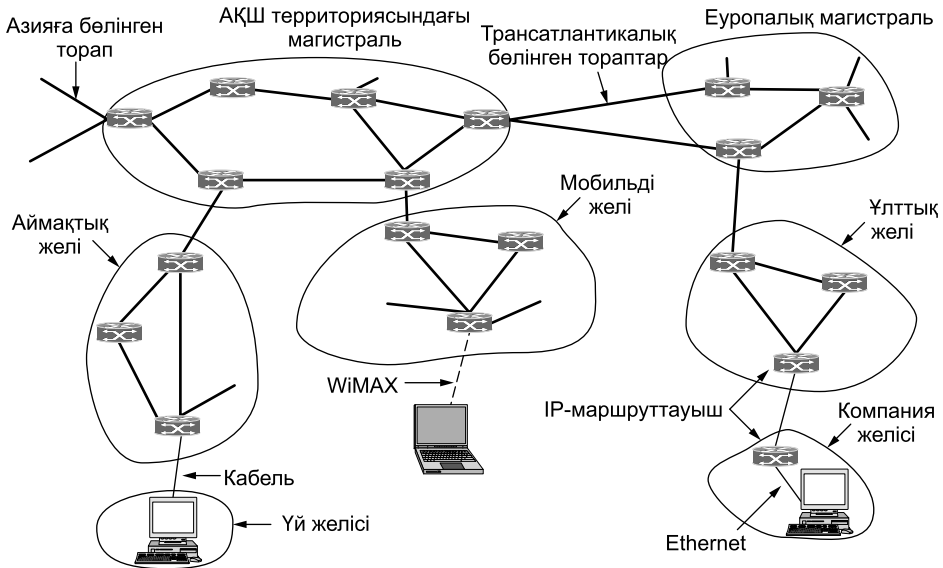
10. Баға және өнімділік жайлы ұмытпаңыз. Өнімділігі төмен және бағасы қымбат желі ешкімге керек емес.

Енді жалпы принциптерден, Интернет желілік деңгейінің егжей-тегжейіне көшейік. Желілік деңгейде Интернетті желілер жиынтығы немесе бір-бірімен байланысқан **автономды жүйелер** (АЖ) ретінде қарастыруға болады. Интернеттің белгілі бір құрылымы жоқ, бірақ бірнеше магистралдары бар. Олар жоғары өнімділікті тораптардан және жылдам маршруттауыштардан жиналған. Ең ірі магистрал (Интернеттің басқа бөліктеріне қол жеткізу үшін қосылуды қажет ететін) **Tier 1** желісі деп аталады. Үйлерде және мекемелерде, деректерді өңдеу орталықтарын және үлкен көлемдегі серверлері бар коллокация орталықтарын, сонымен бірге аймақтық желілердің (орта деңгейдегі желілер) Интернетке қол жеткізуін қамтамасыз ететін, интернет-провайдерлер магистралдарға жалғанған. Деректерді өңдеу орталықтары, Интернет желісі арқылы тасымалданатын көптеген деректерді өңдейді. Аймақтық желілерге басқа интернет-провайдерлер, көптеген университеттердің және компаниялардың жергілікті желілері, сонымен бірге басқа да сыртқы желілер қосылады. Бұл квазиерархиялық құрылымның схемасы *5.40-суретте* көрсетілген.

Бүкіл осы үлкен құрылым желілік деңгейдің **IP (Internet Protocol – Интернет желісінің хаттамасы)** хаттамасының арқасында «желімдейді». Ертедегі желілік деңгей хаттамаларына қарағанда, IP о бастан желіаралық алмасу хаттамасы ретінде құрастырылды. Желілік деңгейдің бұл хаттамасын келесідей сипаттауға болады: оның жұмысы, машиналардың бір желіде немесе әртүрлі желіде орналасқанына қарамастан жөнелтушіден қабылдаушыға дейін дейтаграмманы тасымалдау (ешбір кепілдіксіз).

Интернет желісіндегі байланыс келесідей жүзеге асырылады – транспорттық деңгей деректер ағынын алып, оны дейтаграммаларға бөледі. Теорияда әр дейтограмманың мөлшері 64 Кбайтқа дейін жетеді, ал іс жүзінде олар әдетте 1500 байттан көп емес (бір Ethernet кадырына сияды). IP-маршруттауыш әр дестені келесі маршруттауышқа, тағайындалған орнына жеткенше жөнелтеді. Бұдан кейін желілік деңгей деректерді, қабылдаушы үрдістің кіріс торабына қоятын, транспорттық деңгейге береді. Фрагменттер тағайындалған орынға жеткен кезде, желілік деңгей оны бастапқы дейтаграммаға жинайды. Сонан кейін бұл дейтаграмма транспорттық деңгейге беріледі.

5.40-суретте көрсетілген мысалда, үй желісі хостының бірі жөнелткен десте хост-қабылдаушы орналасқан мекеме желісіне жеткенше, жолда төрт желіден және көптеген IP-маршруттауыштардан өтеді. Тәжірибеде мұндай жағдайлар көптеп кездеседі және бұдан да ұзақ жолдар болу мүмкін. Байланыс тұрғысынан алғанда Интернет желісі молшылықты: магистралдар және интернет-провайдерлер арасында бірнеше байланыс нүктелері бар. Осыдан хосттар арасында көптеген жолдар да бар. IP хаттамасының мақсаты – осы жолдардың қайсысын пайдаланған жақсы.

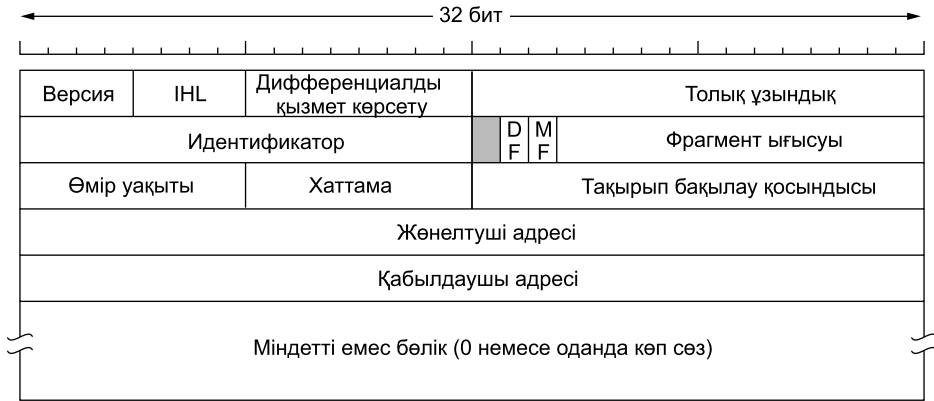


5.40-сурет. Интернет бір-бірімен байланысқан желілер жиынтығын құрайды

5.6.1. IP хаттамасы, 4-версия

Интернет желілік деңгейін оқуды IPv4-дейтаграмм форматынан бастаймыз. IPv4-дейтаграмма тақырыптан және негізгі немесе пайдалы бөліктен тұрады. Тақырып міндетті 20-байттық бөліктен және міндетті емес, ұзындығы айнымалы бөліктен тұрады. Тақырып форматы 5.41-суретте көрсетілген. Биттер солдан оңға және жоғарыдан төмен беріледі, демек, үлкен бит Версия өрісі бірінші беріледі. (Байттардың осындай реті «big-endian» – «сөздің үлкен бөлігінен» деп аталады. Intel x86 тәрізді байттар реті «little-endian» – «сөздің кіші бөлігінен» компьютерлерді жөнелткенде де қабылдағанда да түрлендіру қажет.) Қазір енді, IP үшін «little-endian» ретін пайдаланған дұрыс екені түсінікті болды, алайда хаттама құрастырылған кезде бұл мұншалықты анық емес еді.

Версия өрісінде, дейтаграмма тиесілі хаттама версиясы жазылады. Қазір Интернет желісінде 4 версия басым, сол себепті біз талқылауды осы версиядан бастадық. Версияны әр дейтаграмма басына қосу, ұзақ уақыт арасында хаттаманың бірнеше версиясын пайдалануға мүмкіндік береді. IP хаттамасының келесі версиясы IPv6 осыдан он жыл бұрын құрастырылды, алайда тек қазір қолданыла бастады. Ол жайлы бір кейінірек, осы бөлімде айтамыз. IPv6 хаттамасы, 2^{31} Қытай тұрғынынның әрқайсында дербес компьютер, ноутбук және IP-телефон болған кезде кеңінен таралады. Нөмірлеуге келетін болсақ, таң қаларлық ештеңе жоқ, кезінде көп ешкімге белгісіз, тәжірибелік нақты уақыт масштабындағы IPv5 хаттамасы болған.



5.41-сурет. IPv4-ның IP-дейтаграмма тақырыбы

Тақырып ұзындығы айнымалы, оны сақтау үшін *IHL* өрісі (онда 32-разрядты сөз саны көрсетілген) бөлінген. Ұзындықтың ең кіші мәні (міндетті өріс жоқ болған кезде) 5-ке тең. Бұл 4-биттік өрістің ең үлкен мәні 15-ке тең, ол ұзындығы 60-байт тақырыпқа сәйкес келеді. Сонымен, міндетті емес өрістің ең үлкен ұзындығы 40 байтқа тең. Кейбір қосымшалар үшін, мысалы, десте жөнелтілетін маршрут жазбасы үшін, 40 байт тым аз. Бұл жағдайда қосымша өріс пайдасыз болады.

Дифференциалды қызмет көрсету өрісі – жылдар өте мағынасы сәл өзгерген өрістердің бірі. Бастапқыда бұл өріс *Қызмет түрі* деп аталған. Ол қызмет көрсету класын ажыратуға (қазір де) арналған. Сенімділік пен жылдамдықтың әртүрлі комбинациясы болуы мүмкін. Сандық дыбыс үшін жеткізу жылдамдығы дәлдікке қарағанда маңыздырақ. Файлды тасымалдағанда, керісінше, қатесіз жеткізу жылдамдықтан маңызды. *Қызмет түрі* өрісінде 3 бит басымдылықты көрсету үшін, тағы 3 бит хосты ненің көбірек толғандыратынын көрсетеді: кідіріс, өткізгіштік қабілеттілік немесе сенімділік. Бұл биттермен не істеу керек екенін ешкім білмегендіктен, көп жылдар бойы ол пайдаланылмады. Дифференциалды қызмет көрсету пайда болған кезде, IETF өрістерді басқаша қолдануға келісім берді. Нәтижесінде алғашқы 6 бит қызмет көрсету класын анықтайды, тығыз және кепілді қызмет көрсету жайлы біз осы тарауда айттық. Соңғы екі битке асыра жүктелу жайлы анық мәлімдеме орналастырылады. Бұл мәлімдемелер жайлы асыра жүктелумен күрес қарастырылған бөлімде сөз болған.

Толық ұзындық өрісінде, дейтаграмманың толық ұзындығы көрсетіледі, тақырып және деректерді қоса алғанда. Қазіргі кезде осы жоғарғы шек жеткілікті, алайда болашақта үлкен көлемдегі дейтаграммалар қажет болуы мүмкін.

Идентификатор өрісі, хост-қабыллаушыға алынған фрагменттің қай дестеге тиесілі екенін анықтауға мүмкіндік береді. Бір десте фрагменттерінде идентификатор мәні бірдей болады.

Келесі, пайдаланылмайтын бір бит орналасқан. Бұл өте таңқаларлық жағдай, себебі IP-тақырыпты үнемді пайдалану қабылданған. Бірінші сәуір қалжыңы

ретінде Белловин (2003) оны нұқсан келтіруші трафикті анықтауға пайдалануды ұсынған. Сонда желі қауіпсіздігін қамтамасыз ету оңай болар еді: осындай «ашулы» биті бар дестені, оның залал келтіруші жібергенін бірден біліп, жойып тастауға болар еді. Алайда, қауіпсіздік мұндай қарапайым емес.

Ары қарай, фрагменттеуге қатысты, екі бір биттік өріс орналасқан. *DF* биті *Фрагменттеуге болмайды* (Don't Fragment) дегенді білдіреді. Бұл маршруттаушыға арналған команда, дестені фрагменттеуге тыйым салады. Бастапқыда, өріс дестені фрагменттерден қалпына келтіре алмаған хостқа көмектеседі деп есептелген. Қазір ол, жолда фрагменттеусіз тасымалданатын дестенің ең үлкен көлеміне тең, MTU жолдық мәнін есептеуде пайдаланылады. Дейтаграмманы *DF* битімен белгілеп, жөнелтуші не дейтаграмманың бір блокпен жететініне, не жөнелтушінің қателік жайлы мәлімдеме алатынына кепілдік береді.

MF биті *Жалғасы бар* (More Fragments) дегенді білдіреді. Ол ең соңғы фрагменттен басқасының барлығында орналастырылады. Осы бит арқылы қабылдаушы дейтаграмманың соңғы фрагментінің келгені жайлы біледі.

Фрагмент ығысуы өрісі фрагменттің бастапқы дестедегі орнын көрсетеді. Соңғы фрагменттен басқа фрагменттердің барлығының ұзындығы 8-ге еселі болуы тиіс. Бұл өріске 13 бит бөлінгендіктен, дейтаграмадағы фрагменттердің ең үлкен саны 8192, бұл дестенің Толық ұзындық өрісіне дейінгі ең үлкен ұзындығын береді. Идентификатор, *MF*, Фрагмент ығысуы өрістері 5.5.5-бөлімде айтылған, фрагменттеу схемасын жүзеге асыру кезінде қолданылады.

Өмір уақыты өрісі, дестенің өмір уақытын шектейтін санауыш. Ол уақытты секундпен санайды деп жорамалданған болатын, сондықтан дестенің ең үлкен өмір уақыты 255 с. Әр маршруттауышта бұл мән кем дегенде бірге кемүі керек және оған кезектегі кідіріс уақыты қосылады. Алайда, іс жүзінде бұл санауыш тек жолдағы маршруттауыштан өтуді санайды. Өріс мәні нөлге тең болған кезде ол жойылып, жөнелтушіге ескертуі бар десте жөнелтіледі. Сөйтіп, маршруттауыш кестесі қандай да бір себептермен бұзылған кездегі, дестенің шексіз саяхаты тоқтатылады.

Фрагменттерден дестені жинап, желілік деңгей онымен не істеу керек екенін шешуі тиіс. *Хаттама* өрісі оған дестені транспорттық деңгейдің қай үрдісіне беру керек екенін хабарлайды. Бұл TCP, UDP немесе тағы басқа болуы мүмкін. Бүкіл Интернет бойынша үрдістер ауқымды түрде нөмірленген. Хаттама нөмірлері басқаларымен қоса RFC 1700 құжатында көрсетілген. Қазір бұл құжаттың электронды интернет-версиясына www.iana.org адресі бойынша қол жеткізуге болады.

Тақытыпта маңызды ақпарат (жиірек, адрес) жазылатын болғандықтан, оны қорғау үшін жеке өріс қарастырылған – *Тақырып бақылау қосындысы*. Қосындыны есептеу алгоритімі қарапайым – тақырыптың 16-разрядты жартылай сөздері қосымша кодта қосылып, нәтиже де қосымша кодқа түрлендіріледі. Сөйтіп, қабылдаушы тексеретін тақырып бақылау қосындысы (осы өріспен қоса) нөлге тең болуы тиіс. Мұндай бақылау қосындысы – десте желі арқылы өткендегі қателіктерді анықтау үшін пайдалы. *Тақырып бақылау қосындысы* өрісінің мәні әр транзиттік аумақта қайта саналуы тиіс екеніне назар аударыңыздар, себебі кем

дегенде бір өріс (өмір уақыты) үнемі өзгеріп отырады. Есептеуді жылдамдату үшін кейбір қулықтар пайдаланылады.

Жөнелтуші адресі және Қабылдаушы адресі өрістері жөнелтуші және қабылдаушының желілік интерфейсінің IP-адресін көрсетеді. Интернет-адрестер келесі бөлімде қарастырылады.

Міндетті емес бөлік өрісі хаттаманың жаңа версиясы пайда болған кезде осы форматта жоқ өрістерді енгізу үшін қалдырылған. Ол әртүрлі жаңа идеялар тәжірибесі үшін сынақ кеңістігі бола алмайды. Одан басқа, ол стандартты тақырыпқа сирек қолданылатын ақпаратты қостырмайды. *Міндетті емес бөлік өрісінің* көлемі өзгермелі. Өріс басында бір байттық идентификатор орналасады. Одан кейін бір байттық ұзындық өрісі, сонан кейін бір немесе бірнеше ақпараттық байттар орналасуы мүмкін. Кез келген жағдайда Міндетті емес бөлік өрісінің көлемі 4-ке еселі болуы керек. Бастапқыда бұл өрістің, *5.5-кестеде* келтірілген 5 түрі ұсынылған болатын.

5.5-кесте

IP-дейтаграмманың Міндетті емес бөлік өрісінің кейбір түрлері

Түрі	Сипаттамасы
Қауіпсіздік	Дейтаграмманың құпиялық деңгейін көрсетеді
Жөнелтушіден қатаң маршруттау	Дейтаграмманың толық жолын көрсетеді
Жөнелтушіден еркін маршруттау	Өтіп кетуге болмайтын маршруттауыштар тізімі
Маршрутты есте сақтау	Барлық маршруттауыштардан өз IP-адрестерін қосуды талап етеді
Уақытша мөртаңба	Барлық маршруттауыштардан өз IP-адрестерін және ағымдағы уақытты қосуды талап етеді

Қауіпсіздік параметрі дейтаграмманың құпиялық деңгейін көрсетеді. Теорияда, бұл параметрді әскери маршруттауыш, дестені белгілі бір мемлекет территориясы арқылы жөнелтуге тыйым салу үшін пайдалана алады. Іс жүзінде барлық маршруттауыштар бұл параметрді елемейді, сондықтан оның жалғыз қолданысы, шпиондарға бағалы ақпарат іздеуге көмектесу.

Жөнелтушіден қатаң маршруттау параметрі дейтаграмманың жөнелтушіден қабылдаушыға дейінгі толық жолын IP-адрестер тізбегі ретінде көрсетеді. Дейтаграмма дәл осы маршрутпен жүруге тиіс. Бұл параметрдің ең үлкен көмегі маршруттау кестесі бұзылғанда немесе желінің уақыттық параметрін өлшеу үшін, жүйелік менеджер төтенше дестені осы маршрутпен жөнелте алады.

Жөнелтушіден еркін маршруттау параметрі дестенің көрсетілген маршруттауыштар тізімі арқылы көрсетілген ретпен өтуін, бірақ жолда ол кез келген маршруттауыш арқылы өте алады. Әдетте, бұл параметр азғана маршруттауыштар тізімін көрсетеді. Мысалы, Лондоннан Сиднейге жөнелтілген дестені батысқа

емес шығысқа қарай қозғау үшін, бұл параметрде Нью-Йорк, Лос-Анджелес және Гонолулуудағы маршруттауыш IP-адресін көрсетуге болады. Бұл параметр, саяси және экономикалық ойлар тұрғысынан дестенің белгілі бір мемлекеттер арқылы өтуінен қашқан кезде пайдалы.

Маршрутты есте сақтау параметрі жолда кездескен барлық маршруттауыштардан *Міндетті емес* бөлік өрісіне өз IP-адрестерін қосуды талап етеді. Бұл параметр жүйелік әкімшілікке маршруттау алгоритміндегі қателіктерді анықтауға («Хьюстоннан Далласқа жөнелтілген дестелер неліктен алдымен Токиоға келеді?») мүмкіндік береді. ARPANET желісі құрастырылған кезде ешбір десте 9 маршруттауыштан артық өтпейтін, сондықтан 40 байт көлем бұл параметр үшін тым үлкен болатын. Жоғарыда айтылғандай, бүгінде Міндетті емес бөлік өрісінің көлемі тым аз.

Соңғы Уақытша мөр-таңба параметрі, толығымен Маршрутты есте сақтау параметрі тәрізді жұмыс жасайды, бірақ әр маршруттауыш 32-разрядты IP-адрестен басқа, 32-разрядты ағымдағы уақытты жазады. Бұл параметр де желі параметрлерін өлшеу үшін қолданылады.

Соңғы уақытта, міндетті емес өріс құрметте емес. Маршруттауыштар оны не елемейді, не тиімсіз өңдейді. Басқа сөзбен айтқанда, жартылай қолдайды және сирек пайдаланады.

5.6.2. IP-адрестер

IPv4 анықтаушы белгісі оның 32-биттік адресі. Интернетте әр хосттың және маршруттауыштың, IP-дестенің *Жөнелтуші адресі* және *Қабылдаушы адресі* өрістерінде қолданатын IP-адресі бар. IP-адресінің іс жүзінде хостқа қатысы жоқ екенін айта кету керек. Ол желілік интерфейске қатысты, сондықтан екі желімен байланысқан хосттың екі IP-адресі болуы керек. Алайда, практикада хосттардың көбі бір желіге қосылған, демек тек бір адрестері бар. Маршруттауыштардың, керісінше, бірнеше интерфейсі бар, демек бірнеше IP-адресі бар.

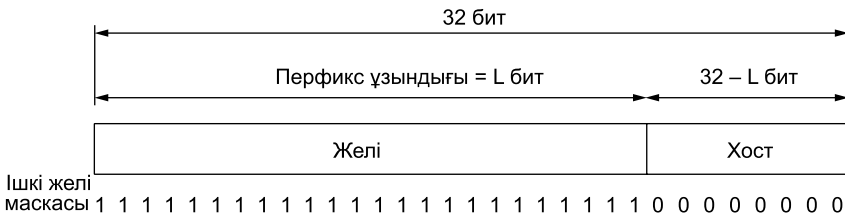
Перфикстер

IP-адресінің Ethernet-адрестен айырмашылығы – олар иерархиялық түрде ұйымдастырылған. 32-биттік адресінің бірінші бөлігінің ұзындығы айнымалы және оны желі белгілейді, ал соңғы бөлігі хосты көрсетеді. Желілік бөлік бір желі хосттары үшін бірдей (мысалы, Ethernet ЖЕЖ). Сөйтіп, желіге IP-адресінің үздіксіз бөлігі сәйкес келеді. Бұл блок перфикс (**prefix**) деп аталады.

Әдетте IP-адрес, нүктемен бөлінген (dotted decimal notation) төрт ондық сан (әрқайсысы жеке байттарға сәйкес келеді) түрінде жазылады. Мысалы, оналтылық санау жүйесіндегі 80D00297 адресі 128.208.2.151 түрінде жазылады. Перфикс, блоктағы ең кіші IP-адрес және блок мөлшерімен беріледі. Мөлшер желілік бөліктегі биттер санымен анықталады, хост бөлігіндегі қалған биттер өзгермелі бо-

лады. Сонымен, мөлшер екінің дәрежесі. Дәстүр бойынша ол IP-адрес перфиксінен кейін, слэш және желі бөлігінің битпен көрсетілген мөлшері түрінде жазылады. Біздің мысалымызда перфикс 2^8 адрестен тұрады, сондықтан желілік бөлік үшін 24 бит беріледі. Ол былайша жазылады: 128.208.2.0/24.

Перфикс ұзындығы IP-адрестен шықпайтын болғандақтан, маршруттау хаттамасы перфиксті маршруттауышқа беруге мәжбүр. Кейде перфикстер ұзындықты көрсету арқылы (мысалы, «/16») беріледі. Перфикс ұзындығы, бірлік желілік бөлікті көрсететін, екілік маскаға сәйкес келеді. Мұндай маска ішкі желі **маскасы (subnet mask)** деп аталады. Маска және IP-адрес арасында ЖӘНЕ (AND) операциясын орындау желілік бөлікті алуға мүмкіндік береді. Біздің мысалымызда (5.42-сурет) ішкі желі маскасы мынадай: 255.255.255.0.



5.42-сурет. IP-адрес перфиксі және ішкі желі маскасы

Иерархиялық адрестің маңызды артықшылығы және кемшілігі бар. Перфикстің маңызды артықшылығы, әр желіге бірегей адрестік блок сәйкес келетін болғандықтан, маршруттауыштар дестені адрестің тек желілік бөлігін пайдаланып жөнелте алады. Маршруттауышқа адрестің хосты анықтайтын бөлігін пайдаланудың қажеті жоқ, себебі бір желінің хосттары үшін дестелер бір бағытта беріледі. Дестелер хосқа тек сәйкес желіге жеткеннен кейін ғана жөнелтіледі. Нәтижесінде маршруттау кестесі әлдеқайда кіші болады. Бұл Интернеттегі хосттар саны миллиардқа жақындап келе жатқанда, өте маңызды артықшылық, әйтпесе маршруттау кестесі шексіз үлкен болар еді. Иерархия аркасында, олар тек 300 000 перфикс үшін маршрутты сақтайды.

Иерархия Интернеттегі маршруттауды жеңілдеткенімен, оның екі кемшілігі бар. Біріншіден, хосттың IP-адресі оның желідегі орнына байланысты. Ethernet адресін әлемнің кез келген нүктесінде пайдалануға болады, ал IP-адрес нақты желіге тиесілі, сондықтан маршруттауыштар дестені нақты желідегі тағайындалған адреске жеткізе алады. Хосттар, өз IP-адрестерін сақтап, бір желіден екіншісіне ауысу үшін, мобильді IP тәрізді жаңа шешім қажет.

Екінші кемшілік, дұрыс емес иерархия адрестерді тиімсіз қолдануға әкелуі мүмкін. Егер адрестер желілерге үлкен (тым үлкен) блоктармен қосылып жазылса, көп адрес бөлінеді, бірақ пайдаланылмайды. Егер адрестер көп болса, бұл факт мұндай маңызды болмас еді. Алайда, осыдан он жыл бұрын, Интернеттегі адрестер кеңістігі үлкен жылдамдықпен толып келе жатқаны белгілі болған. IPv6

хаттамасы бұл мәселені шешті, бірақ ол кеңінен қолданылмайынша, адресстерді тиімді бөлу мәселесі қиындық туындайды.

Ішкі желілер

Шиеленіс туындамас үшін желі нөмірлерін коммерциялық емес **аттар және нөмірлер тағайындау корпорациясы ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)** жүргізеді. Өз кезегінде ICANN, адресстік кеңістіктің кейбір бөліктерін тағайындауды, провайдерлер және басқа да компанияларға IP-адрес тағайындаумен айналысатын аймақтық ұйымдарға берген. Сөйтіп, компаниялар IP-адрес блоктарын алады.

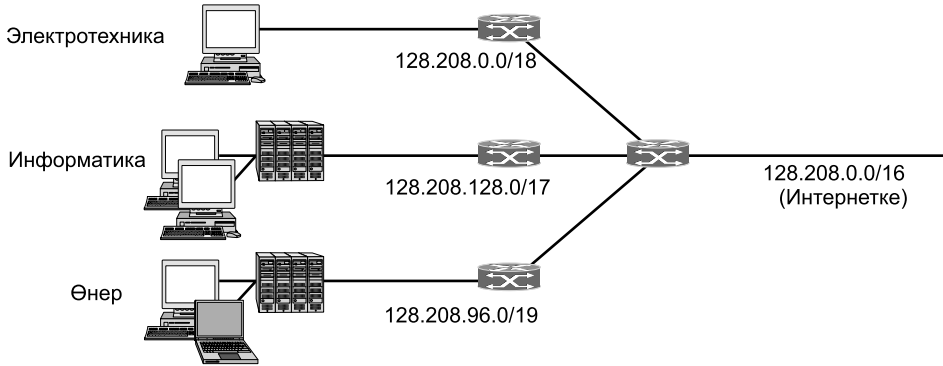
Алайда, тарих осыдан басталады, себебі компаниялардың өсуімен оларға жаңа IP-адрестер қажет. Біз жоғарыда айтқандай, перфикс бойынша маршруттау, желінің барлық хосттарында бір желі нөмірі болғанын талап етеді. IP-адрестеудің бұл қасиеті желі өскенде қиындық туындатуы мүмкін. Мысалы, университет информатика факультетімен Ethernet ретінде пайдаланатын, біздің мысалдағы /16 перфиксімен желі құрастырды делік. Бір жылдан кейін электротехника факультетіне Интернетке қосылу қажет болды, содан кейін өнер факультетіне. Бұл факультеттер қандай IP-адресі пайдаланады? Егер қосымша блок сұрасақ, онда жаңа желі университет желісінің бөлігі болмайды, сонымен бірге қымбат және ыңғайсыз. Одан бетер, /16 перфиксі 60 000 артық хост қосуға мүмкіндік бермейді. Мұндай перфикс желі өседі деген болжаммен таңдалған шығар. Бірақ ол әлі орын алған жоқ, сондықтан университетке жаңа блоктар бөлу тиімсіз болады. Жаңа құрылым қажет.

Мәселе, желіні ішкі ұйымдастыру тұрғысынан бірнеше бөлікке бөлу арқылы шешілді. Бұл **ішкі желіге бөлу (subnetting)** деп аталады. Ірі желіні бөлу нәтижесінде алынған желілер (мысалы, Ethernet желісіндегі жергілікті желілер) **ішкі желі (subnets)** деп аталады. Бірінші тарауда айтылғандай, терминді бұлайша пайдалану, желідегі маршруттауыштар және байланыс тораптары жиынтығын білдіретін «ішкі желі» терминінің ескі ұғымымен шиеленіседі.

Біздің мысалда, ішкі желіге бөлудің қаншалықты пайдалы екені *5.43-суретте* көрсетілген. Ортақ /16 желісі бөліктерге бөлінген. Бөліктердің бірдей болуы міндетті емес, бірақ адресстер хосттың қалған бөлігінің ұзындығын есепке ала отырып бөлінуі тиіс. Біздің мысалымызда блоктың жартысы (/17) информатика факультетіне беріледі, ширегі (/18) – электротехника факультетіне, сегізден бір бөлігі (/19) – өнер факультетіне. Қалған сегізден бір бөлігі пайдаланылмайды. Блоктың бөліктерге қалай бөлінетінін түсінудің тағы бір жолы – перфикстерге екілік түрде қарау.

Информатика	10000000	11010000	1 xxxxxxx	Xxxxxxxx
Электротехника	10000000	11010000	00 xxxxxxx	Xxxxxxxx
Өнер	10000000	11010000	011 xxxxx	Xxxxxxxx

Тік сызық (|) ішкі желі нөмірі мен хост нөмірі арасындағы шекараны білдіреді.



5.43-сурет. Ішкі желіге бөлгенде IP-перфиксті бөлу

Орталық маршруттауыш келген дестені, ішкі желінің қайсына жіберу керек екенін қалай біледі? Мұндай перфиткстің спецификалық қасиеттері пайдалы болуы мүмкін. Тәсілдердің бірі, әр маршруттауыш, әр хостқа қолжеткізу үшін қандай шығыс торапты пайдалануға болатыны жайлы жазылған 65 536 жазбасы бар, кестені қолдауы тиіс. Бірақ бұл, маршруттауш кесте мөлшеріне байланысты иерархияның неізгі артықшылығын жоққа шығарады. Оның орнына, маршруттауыштар ішкі желілердің маскаларын білетіндей етіп жасауға болады.

Десте келген кезде маршруттауыш тағайындалған адресі қарап, оның қай ішкі желіге жататынын анықтайды. Ол үшін маршруттауыш, осы адрес және әр ішкі желі маскасымен ЖӘНЕ операциясын орындап, нәтижені сәйкес перфикспен салыстырады. Бізде 128.208.2.151 адресі десте бар делік. Оның информатика факультетіне жататындығын тексеру үшін оған логикалық ЖӘНЕ операциясының көмегімен 255.255.128.0 маскасын қосамыз, сөйтіп алғашқы 17 битті (демек, 128.208.0.0) алып тастаймыз. Алынған нәтижені перфикспен (128.208.128.0) салыстырамыз. Олар сәйкес келмейді. Электротехника факультеті үшін, сәйкесінше адрестің алғашқы 18 битін аламыз, нәтижесі 128.208.0.0. Бұл мән перфикспен сәйкес келеді, демек десте элетротехника факультетін желісіне баратын интерфейс-ке беріледі.

Ішкі желіге бөлуді кейіннен өзгертуге болады. Ол үшін, университетің барлық маршруттауышындағы, ішкі желілердің желілік маскалары жайлы мәліметтерді жаңарту қажет. Желі сыртында ішкі желіге бөлу байқалмайды, сондықтан әрбір ішкі желі пайда болған сайын ICANN-на қолқа салып немесе қандай да бір сыртқы деректер базасын өзгертудің қажеті жоқ.

CIDR – классыз доменаралық маршруттау

IP-адресі тиімді бөлгенде де желінің өсу мәселесі сақталады. Егер маршрутта-

уыш, қандай да бір ұйым желісінің (мысалы, университет) шекарасында орналасса, ол дестені осы желіге қандай торап арқылы жөнелтуді білу үшін, барлық ішкі желілер жайлы ақпаратты сақтауы тиіс. Егер тағайындалған адрес бұл ұйымның шекарасынан тыс орналасса, ол қарапайым үнсіз келісім ережесін қолдана алады: осы ұйымды Интернет желісімен байланыстыратын торап арқылы жөнелту. Қалған тағайындалған адресстер сол маңда орналасқан болуы тиіс.

Интернет-провайдерлер және магистралдар маршруттауыштары бұлай істей алмайды. Олар кез келген желіге баратын жолды білуі тиіс, сондықтан олар үшін үнсіз келісім ережесі жоқ. Бұндай маршруттауыштарды, Интернет желісінің **үнсіздіктен еркін аумағында (default-free zone)** орналасқан деп айтады. Интернетке неше желі қосылғанын дәл ешкім білмейді, бірақ оның көп екені анық – мүмкін, миллион шамасында. Олардан үлкен кесте құрастыруға болады. Компьютер стандарттары тұрғысынан мүмкін үлкен емес шығар, бірақ өзіңіз ойлап көріңізші, маршруттауыш бұл кестені әр дестені жөнелткен сайын қарап шығуы тиіс, ал бір секундта ол миллион десте жөнелтеді. Дестелерді мұндай жылдамдықпен өңдеу үшін арнайы аппараттық құрылғы және жылдам жұмыс жасайтын жады қажет, қарапайым компьютер бұған жарамайды.

Әртүрлі маршруттау алгоритмдері маршруттауыштың өзіне қолжетімді адресстері жайлы ақпаратпен басқа маршруттауыштармен алмасып отырғанын талап етеді. Кесте көлемі үлкен болған сайын, үлкен көлемдегі деректерді өңдеп, тасымалдау қажет. Кесте мөлшері өскен сайын, өңдеу уақыты, кем дегенде сызықтық түрде өседі. Неғұрлым көп деректер жөнелткен сайын, ақпараттың жолда жоғалу ықтималдығы жоғарылайды (ең жақсы жағдайда уақытша), бұл маршрутты таңдау алгоритмінің жұмысын тұрақсыздандырады.

Маршруттау кестесінің мәселесін, телефон желісіндегідей иерархия деңгейін өсіру арқылы шешуге болады. Мысалы, егер әр IP-адресіте ел, штат немесе провинция, қала, желі және хост нөмірінің өрісі болса. Бұл жағдайда әр маршруттауышқа әр елге, сол елдің әр провинциясы немесе штатына, әр провинция немесе штаттың және әр қаланың желілік нөміріне қалай жету керек екенін білу керек болады. Өкінішке орай, бұл амал адрес үшін 32 биттен әлдеқайда көп қажет етеді және адрестік өріс тиімсіз қолданылады (Лихтенштейн князьдығы үшін бөлінетін разрядтар саны, Америка Құрама Штаттарымен берілетін разрядтар санымен бірдей болады).

Дегенмен де, маршруттау кестесі көлемін кішірейтетін әдіс бар. Ішкі желілерге бөлгендегі принципті қолданайық: маршруттауыш IP-адресінің орны жайлы әртүрлі ұзындықты перфикс арқылы біле алады. Алайда желіні ішкі желілерге бөлгеннің орнына, біз бірнеше кіші перфикстерді бір ұзын перфикске біріктіреміз. Бұл үрдіс **маршрутты агрегациялау (route aggregation)** деп аталады. Нәтижесінде алынған ұзын перфикс, адресстер блогына бөлінген ішкі желіге кері, кейде **супержелі (supernet)** деп атайды.

Агрегациялау кезінде IP-адрес ұзындығы әртүрлі перфикстерде орналасады. Бір IP-адрес бір маршруттауышпен /22 блогының (2^{10} адресстен тұратын) бөлігі ретінде қаралады, ал екіншісі – ірі блок /20 (2^{12} адресстен тұратын) бөлігі ретінде

қарайды. Бұл маршруттауышта қандай ақпараттың бар екеніне байланысты. Бұл әдіс ішкі желіге бөлу үшін де жұмыс жасайды, ол **классыз доменаралық маршруттау, CIDR (Classless InterDomain Routing)** деп аталады. Оның қазіргі кездегі соңғы версиясы RFC 4632 құжатында сипатталған (Fuller Li, 2006). Аты, иерархияны кластар көмегімен кодтайтын адресстерден басқа екенін суреттейді. Ол жайлы біз жақын арада айтамыз.

Маршруттау алгоритмін жақсы жақсы түсіну үшін мысал қарастырайық. Айталық, бізде 194.24.0.0 басталатын, 8192 адресстен тұратын блок бар. Кембридж университетіне 2048 адрес қажет және оған 194.24.0.0-ден 194.27.7.255-ке дейінгі адресстер, 255.255.248.0 маскасы бөлінді делік. Бұл /21 перфиксі болады. Сонан кейін Оксфорд университеті 4096 адрес сұрады. 4096 блогтан тұратын адрес 4096-ға еселі шекарада орналасу керек болғандықтан, оған 194.24.8.0-ден басталатын адресстер бөлінбейді. Оның орнына ол 194.24.16.0-ден бастап 194.24.31.255-ке дейінгі адрессті 255.255.240.0 маскасымен бірге алады. Енді Эдинбург университеті өзіне 1024 адрес бөлуді сұрап, 194.24.8.0-ден 194.24.11.255-ке дейінгі адрессті 255.255.252.0 маскасымен бірге алады. Барлық осы адресстер мен маскарлар 5.6-кестесінде келтірілген.

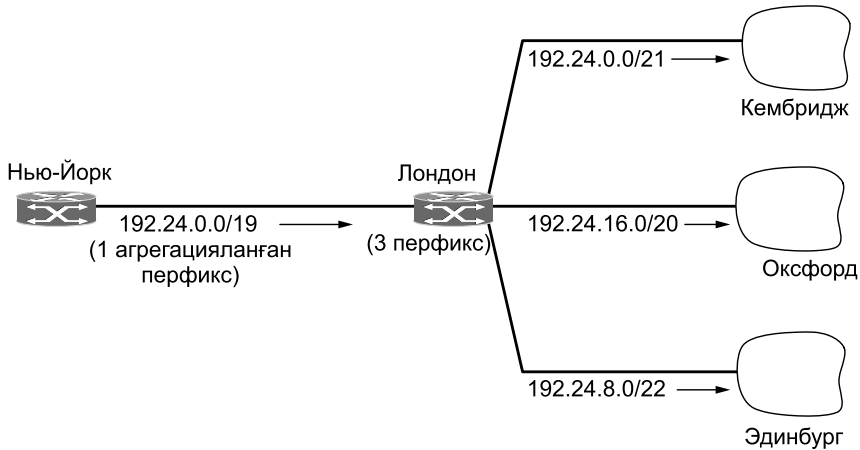
5.6-кесте

Берілген IP-адресстер жиынтығы

Университет	Бірінші адрес	Соңғы адрес	Саны	Жазылу формасы
Кембридж	194.24.0.0	194.24.7.255	2048	194.24.0.0/21
Эдинбург	194.24.8.0	194.24.11.255	1024	194.24.8.0/22
(Бос)	194.24.12.0	194.24.15.255	1024	194.24.12.0/22
Оксфорд	194.24.16.0	194.24.16.255	4096	194.24.16.0/20

Бұдан кейін, үнсіздіктен еркін аумақта орналасқан барлық маршруттауыштарға үш жаңа желінің IP-адресстері хабарланады. Осы университетер маңында орналасқан маршруттауыштар (мысалы, Лондонда – 5.44-сурет), мүмкін осы перфикстерге түрлі шығыс тораптары арқылы дестелер жөнелткісі келер. Сол кезде олар бұл адресстерді өз маршруттау кестелеріне жазады.

Енді, осы үш университетке Нью-Йорктағы маршруттауыш тұрғысынан қарайық. Осы перфикстерге тиесілі IP-адресстер Нью-Йорктан (немесе АҚШ-тан) Лондонға жөнелтілуі тиіс. Лондондағы маршруттау үрдісі бұл жайлы білгеннен кейін үш перфиксті бір 194.24.0.0/19 агрегативті жазбасына біріктіріп, оны Нью-Йоркқа жібереді. Бұл перфикс 8 Кбайт адресстен тұрады, үш университетті және 1024 бос адрессті біріктіреді. Агрегация үш перфиксті біреуге біріктіруге мүмкіндік берді, осының арқасында Нью-Йорктағы маршруттауыш білуге тиіс перфикстер саны және оның маршруттау кестесіндегі жазба саны азайды.



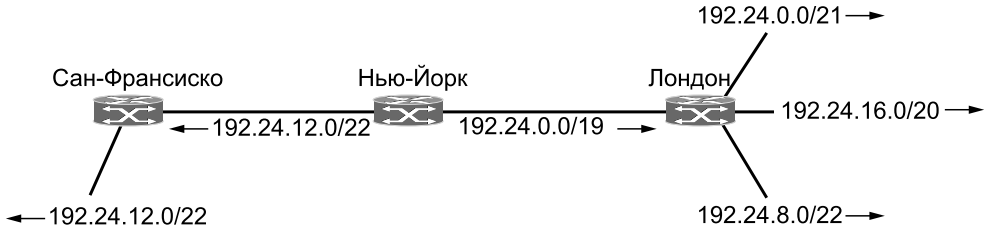
5.44-сурет. IP-перфикстерді агрегациялау

Егер агрегация қосылса, ол автоматты түрде жұмыс жасайды. Бұл үрдіс желілерге адрес бөлетін әкімшіліктен емес, перфикстердің қайда орналасқанына байланысты. Интернетте агрегация өте тиімді пайдаланылады, маршруттау кестесінің мөлшерін шамамен 200 000 перфикске дейін төмендетті.

Ары қарай бұдан да қызықты: перфикстер қилыса алады. Ережеге сәйкес, десте ең аз IP-адрестер орналасқан, ең арнаулы блок немесе ең ұзын **сәйкес перфикс (longest matching prefix)** бағытында жөнелтіледі. Нью-Йорктағы маршруттаушы (5.45-сурет) әрекеті, мұндай маршруттаудың қаншалықты иілгіш екенін көрсетеді. Біздің үш университетке дестелер жөнелту үшін Нью-Йорк маршруттаушы бір агрегивті перфиксті пайдаланады. Бос болған адрестер блогы енді Сан-Францискодағы желіге тиесілі болса не істейміз? Мысалы, Нью-Йорк маршруттаушы төрт перфиксті сақтай алады: бірі Сан-Франциско және үшеуі Лондон үшін. Ең ұзын сәйкес перфикс бойынша маршруттауда екеуі (5.45-сурет) жеткілікті. Бір ортақ перфикс, бүкіл блокқа тағайындалған трафикті Лондонға жөнелту үшін қолданылады. Екіншісі, трафиктің Сан-Францискоға арналған бөлігін жөнелтуге қолданылады. Ең ұзын сәйкес перфикс ережесі бойынша, Сан-Францискодағы IP-адрестерге арналған дестелер, Сан-Фрнцискоға бағытталған шығыс торапы арқылы жөнелтіледі. Бұдан ірі желіге арналған дестеліер Лондонға жөнелтіледі.

Іс жүзінде CIDR былайша жұмыс жасайды. Десте келген кезде, адресің қандай перфикске жататынын анықтау керек: ол үшін маршруттау кестесі қаралады. Мәні бойынша бірнеше жазба сәйкес келуі мүмкін. Бұл жағдайда ең ұзын перфикс пайдаланылады. Яғни, егер /20 және /24 маскасына сәйкестік табылса, онда шығыс торабын таңдай үшін /24-ке сәйкес жазба қолданылады. Алайда, егер маршруттау кестесінің жазбалары бірінен кейін бірі қаралса, бұл үрдіс бейнетті болар еді. Бұның орнына, кестедегі ардесте іздеу үрдісін жылдамдататын күрделі алгоритм құрастырылды (Ruiz-Sanchez және басқалар, 2001). Коммерциялық бағыттағы

маршруттауыштарда арнайы VLSI чипі пайдаланылады. Мұнда бұл алгоритм аппаратты түрде енгізілген.



5.45-сурет. Нью-Йорк маршруттауышында ең ұзын сәйкес перфикс бойынша маршруттау

Толық класты және арнайы адрестеу

CIDR негізгі артықшылықтарын көру үшін, ертеде пайдаланылған тәсілді қарастырайық. 1993 жылға дейін IP-адрестер бес категорияға бөлінген (5.46-сурет). Мұндай таратылу **толық класты адрестеу (classful addressing)** деп аталған.



5.46-сурет. IP-адрес форматы

A, B, C және D кластарының форматы әрқайсысында 16 млн хосты бар 128 желіге дейін, 64 536 хосты бар 16 384 желі немесе 256 хосты бар 2 млн желіге (мысалы, ЖЕЖ) адрес беруге мүмкіндік береді (олардың кейбіреуі арнайы болады). Дейтаграммалар бір мезгілде бірнеше хостқа таратылатын, көп адресті тарату класы қарастырылған. 1111-ден басталатын адресстер келешекте пайдалануға сақталған. Бұл адресстерді қазір, IPv4 адрестік кеңістігі аяқталған кезде пайдалануға

беру дұрыс болар еді. Көп уақыт бойы бұған тыйым салынғандықтан, көптеген хосттар оны қабылдамайды, ескі хосттарды дағдысын өзгертуге мәжбүрлеу оңай емес.

Мұндай құрылым иерархиялық болып саналады. Бірақ мұнда CIDR-ге қарағанда адрес блоктарының көлемі тұрақты. Қолданыста 2 миллиард адрес бар, алайда адрестік кеңістіктің иерархиялық ұйымдастырылуы арқасында бұл сан миллионға қысқартылды. Жеке алғанда, мұндай жағдайға жазықты В класс желілері. Көптеген ұйымдар үшін 16 млн А класты адрес тым көп, ал 256 адресі С класс – тым аз. 65 536 адресі бар В класс – ең оңтайлы жағдай. Интернет-фольклорда мұндай диллема **үш аю мәселесі** деген атпен таныс.

Іс жүзінде, В класы да өз желілерін құрастыратын көптеген конторлар үшін тым көп. Зерттеулер көрсеткендей, В класс желілерінің жартысынан көбі 50-ден кем хосттан тұрады. Ешбір шүбәсіз, осы ұйымдардың барлығына С класты желі жеткілікті болар еді. Алайда барлығы осы кішігірім ұйым бір ғажайып күні соншалықты өсіп, оған 8-биттік хосттар адрестік кеңістігінен шығып кетеді деп ойлайды. Қазір өткенге көз салып, С класс үшін 10-биттік адрестеуді (желіде 1022 хостқа дейін) пайдаланған дұрыс болар еді ойлаймыз. Егер осылай болғанда, көптеген ұйымдар өзіне В класты емес, С класты желі орнату жайлы шешім қабылдай еді. Мұндай желілер, В класты желі жағдайындай 16 384 емес, жарты миллион болар еді.

Орын алған жағдайда Интернет жобалаушыларын, В класты желілер адрестік кеңістігін үлкейтпеді (немесе кемітпеді) деп кінәлауға болмайды. Шешім қабылданған кезде Интернет АҚШ-ың ғылыми-зерттеу ұйымдарының (оған қоса, желі көмегімен зерттеумен айналысқан бірнеше әскери ұйымдар) құралы болатын. Сол кезде, Интернет телефон жүйесімен бәсекелесетін, коммерциялық, жалпы қолданыстағы коммуникация жүйесі болады деп ешкім ойлаған жоқ. Өзінің дұрыс айтып тұрғанына күмән келтірмейтін біреу сол кезде: «АҚШ-та 2000 жуық колледж және университеттер бар. Олардың барлығы Интернетке қосылса, тіпті оларға басқа елдердің университеттері қосылса да біз еш уақытта 16 000 санынан аспаймыз, себебі дүниежүзінде жоғарғы оқу орындары көп емес. Оның орнына біз хост нөмірлерін бүтін сан байтымен нөмірлейтін боламыз, бұл дестелерді өңдеу үрдісін жылдамдатады (ол кезде бұл тек программа көмегімен орындалатын)» Мүмкін, күндердің бір күнінде біреу телефон желісін ұйымдастырушыларды: «Міне жарыместер! Телефон нөміріне ғаламшар нөмірін неге қоспаған?» – деп кінәлар. Телефон желісі құрастырылған кезде мұның қажет болатындығын ешкім білген жоқ.

Бұл мәселелерді шешу үшін жеке ұйымдарға адрестер блогын бөлудің иілгіш механизмін қамтамасыз ететін ішкі желілер құрастырыла бастады. Кейінірек қолданысқа, маршруттау кестесін кішірейтетін, жаңа CIDR схемасы енді. Қазір желі класын (А, В немесе С) көрсететін биттер қолданылмайды, бірақ әдебиеттерде оған сілтеме әлі де пайдаланылады.

Кластардан бас тарту маршруттау үрдісін біраз қиындатты. Кластарға негізделген ескі жүйеде маршруттау келесідей жүретін. Десте маршруттауышқа келген кезде, одан IP-адресінің көшірмесі алынып, оңға 28 битке ығыстырылғаннан

кейін 4-биттік класс нөмірін береді. Дестелер 16-балама бұтақталу көмегімен А, В, С (сонымен бірге D және E) сұрыпталатын: сегіз жағдай – А үшін, төрт – В үшін, екі жағдай – С үшін. Содан кейін, маска көмегімен әр класс коды бойынша 8-, 16- немесе 32-биттік желі нөмірі анықталады. Бұл нөмір оң разрядтар бойынша тураланып, 32-биттік сөзге жазылады. Желілік нөмір А, В немесе С кестелерінен алынады, сонымен бірге А және В үшін индекстеу, ал С үшін хэш-функция қолданылады. Алынған жазба бойынша, десте ары қарай саяхаттайтын шығыс торабы анықталады. Бұл әдіс, ең ұзын сәйкес перфиксті анықтағаннан әлдеқайда қарапайым. Ең ұзын сәйкес перфиксті анықтау кезінде кесте бойынша қарапайым іздеу мүмкін емес, себебі IP-адрес перфиксінің ұзындығы айнымалы болуы мүмкін.

Интернетте көп адресі тарату үшін D класс адрестері қазіргі кезде қолданылмайды. Олар бұл мақсатта қолданыла бастады деген дұрыс болар еді. Себебі осы кезге дейін көп адресі тарату Интернетте кеңінен таралмаған болатын.

Кейбір адресстердің ерекше маңызы бар (5.47-сурет). Ең кіші адрес = 0.0.0.0 IP-адресі – хостпен тек жүктелу кезінде пайдаланылады. Бұл «бұл желі» немесе «бұл хост» дегенді білдіреді. Желінің нөлдік IP-адресі ағымдағы желіні білдіреді. Бұл адресстер машиналарға өз желісінің хостымен, оның нөмірін білмей (бірақ олар пайдаланатын нөлдер санын білу үшін желі маскасын білуі тиіс) әрекеттесуге мүмкіндік береді. Тек бірліктерден немесе 255.255.255.255 – ең үлкен мәннен тұратын адрес – көрсетілген желідегі барлық хосттарды белгілейді. Ол ағымдағы желі (әдетте жергілікті) шеңберінде кеңтаратуды қамтамасыз етеді. Желі көрсетілген, бірақ хост нөмірі өрісінде бірлік орналасқан адресстер Интернетпен байланысқан кез келген қашықтықтағы жергілікті желі шеңберінде кеңтаратуды қамтамасыз етеді. Алайда кейбір желі әкімшілігі бұл мүмкіндікті қауіпсіздік тұрғысынан өшіріп тастайды. Соңында, 127.xx.yy.zz түріндегі адресстер желілік программалық жабдықтаманы кері ілмек (loopback) әдісімен тестілеу үшін бөлінеді. Бұл адрес бойынша жөнелтілген дестелер торапқа түспейді, тек жергілікті кіріс дестелері ретінде өңделеді. Бұл дестелерге жөнелтуші де осы хостта болғанда оның нөмірін (өз нөмірін де) білмей, хостқа «жөнелтілген» болуға мүмкіндік береді. Тіпті хосттың нөмірі жоқ болса да, ол тестілеу үшін пайдалы болуы мүмкін.

0 0	Осы хост
0 0 . . . 0 0	Хост
1 1	Ағымдағы желіде кеңтарату
Желі	1 1 1 1 . . . 1 1 1 1
127	(Кез келген зат)
	Кері ілмек

5.47-сурет. Арнайы IP-адресстер

NAT – желілік адресі трансляциялау

IP-адресстер – тапшы ресурстар. Провайдерде, 65 534 хостты қосуға болатын /16-адрес (бұрынғы B классы) болуы мүмкін. Егер клиенттер көп болса қиындықтар туындайды.

Бұл тапшылық IP-адресі тиімді пайдалану тәсілдерінің пайда болуына себеп болды. Осындай амал ойынның бірі – IP-адресі осы сәтте желіге қосылған компьютерге беру, компьютер желіден шыққан кезде оның нөмірі басқа байланысқа енген компьютерге беріледі. Бұл жағдайда /16-адресі 65 534 белсенді тұтынушыға қызмет көрсетеді.

Мұндай стратегия кей жағдайда жақсы жұмыс жасайды, мысалы, желіге телефон арқылы қосылған кезде, сонымен бірге байланыс немесе қоректену уақытша болмай қалатын мобильді және басқа да ДК үшін. Алайда, егер тапсырыс беруші ұйым болса, бұл стратегия жарамайды. Себебі корпоративті клиенттер компьютердің үнемі жұмыс жасап тұрғанын қалайды. Кейбір компьютерлер қызметкерлердің жұмыс станциясы болып келеді және бұл компьютерден түнгі уақытта деректер қорға жазылады, ал кейбіреуі веб-сервер қызметін атқарады, сондықтан қашықтықтан келген, кез келген сұранысқа әп-сәтте жауап беруі тиіс. Мұндай ұйымдардың үнемі Интернетпен байланысты қамтамасыз етіп отыратын қолжеткізу торабы бар.

Мәселені қиындататын тағы бір жағдай, көптеген жеке тұтынушылар Интернетпен ADSL немесе кабельді байланыс болғанын қалайды, себебі бұл кезде уақыттық төлемақы болмайды (тек айлық абоненттік төлемақы алынады). Осындай көптеген тұтынушылардың үйде екі немесе одан да көп компьютерлері бар (отбасының әр мүшесіне бір компьютер) және машиналардың барлығы Интернетпен тұрақты байланыста болғанын қалайды. Шешім мынадай: маршруттауыш орнатып (сымсыз), барлық компьютерлерді жергілікті үй желісіне біріктіру қажет. Ал маршруттауыштың провайдерге қосылуы керек. Провайдер тұрғысынан бұл жағдайда отбасы, бірнеше компьютері бар кішігірім фирма болып саналады. Егер әдеттегі схеманы қолдансақ, онда әрбір компьютер күні бойы өз IP-адресін сақтайды. Бірақ бірнеше мыңдаған клиенттері (көбі ұйымдар немесе кішігірім ұйымға ұқсас отбасылар) бар интернет-провайдер үшін мұндай жағдай жарамсыз, себебі IP-адресстер жетіспейді. IP-адрес тапшылығы теорияда ғана емес және ол алыс болашаққа да қатысты емес. Ол дәл қазір өзекті мәселе, сондықтан онымен қазір, осы уақытта күресу керек. Алыс мерзімдік перспективада, бүкіл Интернетті 128-битті адресстеуі бар IPv6 хаттамасына көшіру керек болады. Бұл көшіру біртіндеп жүргізіледі, бірақ ол тым баяу, сондықтан бірнеше жылға созылады. Бұны көргендер, осы жақын аралық үшін басқа бір шешім табу керек дейді. Ондай шешім табылды және қазір кеңінен пайдаланылуда: бұл **желілік адресі трансляциялау, NAT (Network Address Translation)** әдісі, ол RFC 3022 құжатында жазылған. Оны біз төменде қарастырамыз, ал толық ақпаратты (Dutcher, 2001) басылымынан табуға болады.

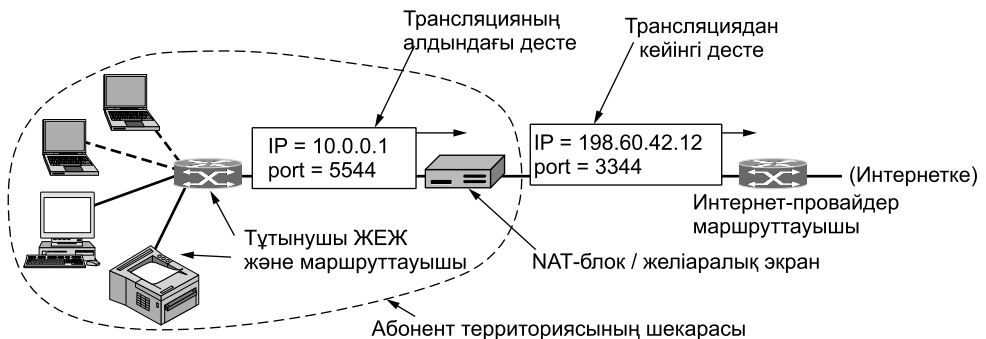
Желілік адресі трансляциялаудағы негізгі ой, әр ұйымға немесе семьяға ин-

тернет-трафик үшін бір IP-адресі (немесе бірнеше адресі) беру. Абоненттік желі ішінде әр компьютер, ішкі трафикті маршруттау үшін бірегей IP-адрес алады. Алайда десте абоненттік желі шеңберінен шығып, провайдерге бағытталған кезде бірегей ішкі IP-адрес ортақ танымал IP-адрес болатын, адресі трансляциялау орындалады. Бұл схеманы жүзеге асыру үшін жеке IP-адресер деп аталатын үш диапазон құрастырылды. Олар желі ішінде өз қалауларына қолданылады. Жалғыз шектеу: мұндай адресі бар дестелер Интернеттің өзінде пайда болмауы тиіс. Төменде қордағы үш диапазон көрсетілген:

10.0.0.0	- 10.255.255.255/8	(16 777 216 хост)
172.16.0.0	- 172.31.255.255/12	(1 048 576 хост)
192.168.0.0	- 192.168.255.255/16	(65 536 хост)

Сонымен, бірінші диапазон 16 777 216 хостты адреспен қамтамасыз ете алады (әдеттегідей, барлық 0 және 1 басқаларын) және абоненттер көбіне осы диапазонды таңдайды, тіпті кішігірім желілер үшін де.

Желілік адресі трансляциялау әдісінің жұмысы *5.48-суретте* көрсетілген. Абонент территориясы шеңберінде әр машинаның *10.x.y.z* тәрізді, өз бірегей адресі бар. Сонда да десте абонент аумағынан шыққан кезде, ол ақпарат көзінің ішкі IP-адресін (*10.0.0.1-суретте*) нақты провайдерден алған IP-адреске (біздің мысал үшін 198.60.42.12) түрлендіретін **NAT-блок (NAT box)** арқылы өтеді. Әдетте NAT-блок, бұл абоненттік желінің шығыс және кіріс трафигін қадағалау арқылы қауіпсіздікті қамтамасыз ететін, желілралалық экраны бар біртұтас құрылғы. Желіларалық экранды біз жеке 8-тарауда қарастырамыз. NAT-блок, сонымен бірге, маршруттауышқа немесе ADSL модемге кіріктірілуі мүмкін.



5.48-сурет. NAT-блоқтың орналасуы және жұмысы

Біз осы уақытқа дейін біз кішкене детальды айналып өтіп отырдық: сұранысқа жауап келген кезде (мысалы, веб-серверден), ол 198.60.42.12 адресіне келеді. Ал NAT-блок компанияның ортақ адресін қай ішкі адреске алмастыратынын қалай біледі? Міне, желілік адресерді трансляциялауды пайдаланатындардың негізгі мәселесі. Егер IP-адрес тақырыбында бос өріс болса, онда оны сұраныс жіберген

адресі есте сақтау үшін пайдалануға болар еді. Алайда тақырыпта қолданылмаған тек бір ғана бит бар. Ақпарат көзінің нақты адресі үшін осындай өріс құрастыруға болар еді, бірақ бұл Интернеттегі барлық машиналардың IP-адрестерін өзгертуді қажет етеді. Бұл тиімсіз амал, әсіресе IP-адрестердің жетіспеушілігін жылдам шешу қажет болған кезде.

Іс жүзінде қалай болатынын қарастырайық. NAT құрастырушылары IP-дестенің ең үлкен пайдалы бөлігі, не TCP, не UDP екенін байқаған. Келесі 6-таурада, TCP және UDP қарастырған кезде, біз екі форматтың да жөнелтуші және қабылдаушы порттар нөмірінен тұратын тақырыбы бар екенін көреміз. Төменде біз TCP портының не екенін талқылаймыз, ал UDP порты дәл осындай. Порт нөмірлері, TCP байланыстың қай жерден басталып, қай жерде аяқталатынын көрсететін, 16-разрядты бүгін саннан тұрады. Порт нөмірлерін сақтайтын орын NAT жұмысы үшін қажет өріс ретінде қолданылады.

Үрдіс қашықтықтағы үрдіспен TCP-байланыс орнатпақ болған кезде, ол өз компьютеріндегі бос TCP-портпен байланысады. Бұл порт TCP-кодқа осы байланыстың дестелерін қайда жөнелту керек екенін хабарлайтын, **ақпарат көзі порты (source port)** болады. Үрдіс, сонымен бірге **тағайындалған портты (destination port)** да анықтайды. Тағайындалған порт арқылы қашықтықтағы бетте дестені кімге беру керек екені де хабарланады. Нөмірлері 0-ден 1023-ке дейінгі порттар белгілі қызмет түрлері үшін қорда сақталады. Мысалы, 80-ші портты веб-сервер пайдаланады, сәйкесінше қашықтықтағы клиенттер осы нөмірге бағытталады. Әр шығыс TCP мәлімдемесінде ақпарат көзі және тағайындалған порты жайлы ақпарат бар. Олар екеуі бірге, байланысты пайдаланатын екі бетте де үрдістерді сәйкестендіру үшін қолданылады.

Проттарды пайдалану түсінікті болу үшін сәйкестік келтірейік. Айталық, компанияның үлкен ортақ телефон нөмірі бар делік. Адамдар оны терген кезде кіммен байланысқысы келетіні жайлы сұрап, сәйкес қосымша нөмірге қосатын оператор даусын естиді. Негізгі телефон нөмірі IP-адреске баламасы бола алады, ал екі беттегі қосымша нөмірлер порттар баламасы. Порттарды адресіне үшін 16-биттік өріс пайдаланылады, ол шығыс дестені алатын үрдісті сәйкестендіреді.

Біз *Жөнелтуші порты* өрісінің көмегімен адресерді бейнелеу мәселесін шеше аламыз. Шығыс десте NAT-блокқа келген кезде *10.x.y.z* ақпарат көзі нөмірі нағыз IP-адреске алмастырылады. Бұдан басқа, TCP *Жөнелтуші порты* өрісі 65 536 жазбадан тұратын NAT-блок алмастыру кестесінің индексімен алмастырылады. Әр жазба бастапқы IP-адрес және бастапқы порт нөмірінен тұрады. Соңында, дестеге TCP және IP тақырыптардың бақылау қосындысы есептеліп қойылады. *Жөнелтуші порты* өрісін алмастыру қажет, себебі 10.0.0.1 және 10.0.0.2 нөмірлі жергілікті машиналар, осы бір портты кездейсоқ пайдаланып қалуы мүмкін (мысалы, 5000 м). Сондықтан жөнелтуші үрдісін бірегей сәйкестендіру үшін *Жөнелтуші порты* өрісі жеткіліксіз болып шықты.

Десте провайдердегі NAT-блокқа келген кезде TCP тақырыбындағы *Жөнелтуші порты* өрісінің мәні алынады. Кестедегі жазба бойынша ішкі IP-адрес және нағыз TCP *Жөнелтуші порты* анықталады. Осы екі мән дестеге енгізіліп, TCP және IP

бақылау қосындылары қайта есептеледі. Десте қалыпты түрде *10.x.y.z* адресімен жеткізілу үшін абоненттің негізгі маршруттауышына беріледі.

Жоғарыда сипатталған схема IP-адресстердің жетіспеушілігін біраз шешкенімен, IP-қауымдасытығының желілік пуристері NAT-ты жер бетінде таралып келе жатқан індет ретінде қарастырады. Оларды түсінуге болады. Біріншіден, желілік адресстерді трансляциялаудың өзі, әр IP-адрес бірегей және дүниежүзінде тек бір машинаны сәйкестендіруі тиіс дейтін IP құрылымына қайшы келеді. Интернеттік бүкіл программалық құрылымы осы факт негізінде жазылған. Желілік адресстерді трансляциялау кезінде мыңдаған машинаның (іс жүзінде осылай болады) бір ғана 10.0.0.1 адресі бар.

Екіншіден, NAT «толассыздық» принципін бұзады. Бұл принципке сәйкес әр хост кез келген басқа хостқа кез келген уақытта десте жөнелте алуы керек. Адресстердің NAT-блокта бейнеленуі шығыс дестемен берілетін болғандықтан, кіріс дестелер шығыс десте жөнелтілгенше қабылданбайды. Іс жүзінде бұл NAT-блогы бар үй желісін пайдаланушы қашықтықтағы сервермен TCP/IP-байланыс орната алады, бірақ қашықтықтағы тұтынушы үй желісіндегі ойын серверіне қосыла алмайды дегенді білдіреді. Бұл мүмкін болу үшін арнайы баптау немесе **NAT Traversal** технологиясы қажет.

Үшіншіден, NAT Интернетті байланысты қажет етпейтін желіден, байланысты қажет ететін желіге айналдырады. Мәселе, NAT-блоқтың бейнелеу кестесін, өзі арқылы өтетін барлық байланыстар үшін қолдау тиіс екендігінде. Байланыс қалып күйін есте сақтау – байланысқа бағытталған желі жұмысы, оның байланысқа бағытталмаған желіге ешқандай қатысы жоқ. Егер NAT-блок істен шықса, онда оның бейнелеу кестесі де жоғалады, демек ол арқылы өткен TCP-байланыс жайлы ұмыту керек деген сөз. Желілік адрессті трансляциялау жоқ кезде маршруттауыштың істен шығуы немесе қайта жүктелуі TCP-байланысқа ешқандай әсер етпейді. Жөнелтілген үрдіс тек бірнеше секунд күтіп, расталмаған дестелерді қайта жөнелтеді. NAT-ты пайдаланған кезде Интернет арнаны коммутациялау желісі тәрізді істен шығуларға сезімтал болады.

Төртіншіден, NAT көп деңгейлі хаттамалар құрастырудың фундаменталды ережесін бұзады: k деңгейі $k+1$ деңгейінің пайдалы жүктеме өрісінде не орналастырғаны жайлы болжам жасамауы керек. Егер бір кезде TCP орнына, тақырып форматы басқа (мысалы, порттарды 32-биттік адресстеу) болатын TCP-2 келетін болса, онда желілік адрессті трансляциялау сәтсіздікке ұшырайды. Көп деңгейлі хаттамалардың бүкіл идеясы – бір деңгейдегі өзгеріс басқа деңгейге әсерін тигізбеуі керек. NAT бұл тәуелсіздікке қайшы келеді.

Бесіншіден, Интернетте тек TCP немесе UDP қолданылуы міндетті емес. Егер А машинасының тұтынушысы В машинасымен әрекеттесу үшін транспорттық деңгейдің жаңа хаттамасын ойлап тапқысы келсе (бұл қандай да бір мультимедиялық қосымша үшін жасалуы мүмкін), онда оған NAT-блоқтың TCP Жөнелтуші порты өрісін дұрыс өндей алмайтындығымен күресу керек болады.

Алтыншы, кейбір қосымшалар көптік TCP/IP-байланысты немесе UDP-портты қажет етеді. Мәселен, **FTP**, стандартты Файлдарды тасымалдау хаттамасы (File

Transfer Protocol) IP-адресі десте денесіне енгізеді, қабылдаушы кейіннен оны алып өндейді. NAT ол жайлы білмейгіндіктен, ол адресі көшіріп ала алмайды немесе басқаша да бейнелей алмайды. Бұл, FTP және интернет-телефония H.323 тәрізді (біз оны *7-тарауда* қарастырамыз) басқа да қосымшалар арнайы шара қолданылмаса, желілік адресі трансляциялау кезінде жұмыс жасаудан бас тартуы мүмкін. NAT тәсілін жақсартып, оны жақсы жұмыс жасауға мәжбүрлеуге болады, бірақ жаңа қосымшалар пайда болған сайын жетілдіріп отыру мүмкін емес.

Соңында, Жөнелтуші порты өрісі 16-разрядты болғандықтан, бір IP-адреске шамамен 65 536 жергілікті машина адресі келеді. Іс жүзінде бұл сан біршама кіші: алғашқы 4096 порт қызметтік қажеттіліктерге берілген. Жалпы, егер бірнеше IP-адрес бар болса, оның әрқайсысы 61 440 орынға дейін қолдай алады.

Осы және басқа да мәселелер RFC 2993 құжатында талқыланған. Қиындықтарға қарамастан, NAT – IP-адресстер тапшылығымен жұмыс жасайтын жалғыз механизм. Сондықтан ол практикада кеңінен қолданылады, әсіресе үй желілерінде, кішігірім ұйымдар желісінде. Қазір NAT-та үнсіз келісім бойынша барлық сұралмаған кіріс дестелеріне шектеу қойылатын болғандықтан, желіаралық экрандар және құпиялықты қамтамасыз ету құрылғылар пайдаланылады. Сондықтан бұл технологияның IPv6 пайдалана бастағаннан кейін қолданыстан кету ықтималдығы аз.

5.6.3. IP 6-версия хаттамасы

Көп жылдар бойы IP шексіз танымал болып келді. Ол тым жақсы жұмыс жасайды және бұның дәлелі – Интернет желісінің экспоненциалды түрде өсуі. Өкінішке орай, IP хаттамасы өз танымалдығының құрбаны болды: адрестік кеңістік тапшы бола бастады. Адрестік кеңістікті тиімді пайдалану үшін CIDR және NAT қолданыла бастағанымен, 2012 жылға дейін IPv4-адресстер ICANN көмегімен бөлінетін болады. Төнген қауіп 20 жыл бұрын байқалды және мұнымен не істеуге болады деген сұрақ интернет-қауымдастығында көптеген пікірталастар мен қарама-қарсылықтарға әкелді.

Бұл бөлімде біз осы мәселе және оның шешімі жайлы сөз қозғаймыз. Болашақтағы жақсы идея әлдеқайда ұзын адреске көшу. **IPv6 (IP version 6 – IP 6 версия)** – ескіні алмастыратын жаңа құрастырылым. IPv6 хаттамасы 128-биттік адресі пайдаланады, көзжетімді болашақта ұзын адресстерді қосымша көбейту қажет емес. Алайда IPv6 енгізу жай емес болып шықты. Бұл, көптеген ұқсастығына қарамастан, желілік деңгейдің IPv4-пен үйлесімсіз, принципіалды жаңа хаттамасы. Бұдан басқа, жеке тұтынушылар және компаниялар неліктен IPv6 көшу керек екенін түсінбейді. Сондықтан 1998 жылы стандарт болып шыққанына қарамастан, ол қазір Интернеттің тек кішкене бір бөлігін (шамамен 1%) алады. Ары қарай не болатыны, соңғы IPv4-адресстер таратылып бітетін, жақын арадағы бірер жылда белгілі болады. Адамдар өз адресстерін eBay-да сата бастар ма екен? Немесе қара нарықта? Кім біледі.

Жоғарыда аталған адресстер тарату мәселесінен басқа, көкжиекте көрінген басқа да қауіпті мәселелер бар. Жақын араға дейін Интернетті көбіне университеттер, жоғары технологиялы өндірістер және АҚШ-тың үкіметтік ұйымдары (әсіресе, Қорғаныс министрлігі) пайдаланған. 90-жылдардың ортасынан Интернетке деген қызығушылықтың көшкін тәрізді өсуіне байланысты, үшінші мыңжылдықта оны талаптары алуан түрлі әлдеқайда көп тұтынушылар пайдаланатын болады. Біріншіден, смартфон тұтынушылары Интернетке үйдегі мәліметтер базасына қолжеткізу үшін қосыла алады. Екіншіден, компьютерлік өнеркәсіп, байланыс құрылғылары және ойын-сауық индустриясының жақындауына байланысты жақында әлемдегі әр телефон және теледидар Интернет түйіні болуы әбден мүмкін. Нәтижесінде, аудио және видеоны тапсырыс бойынша пайдаланатын миллиардтаған машиналар пайда болуы мүмкін. Бұндай жағдайда, IP-дың дамып, иілгіш болуы керектігі анық.

Осы мәселелердің пайда болуын көре білген, IETF Интернетті жобалау мәселелік тобы, 1990 жылдан бастап, IP хаттамасының жаңа версиясын құрастыру жобасын бастады. Бұл хаттамада адрес тапшылығы мәселесі ешуақытта орын алмауы тиіс, сонымен бірге басқа да көптеген мәселелер шешіледі. Бұдан басқа, хаттаманың жаңа версиясы әлдеқайда иілгіш және тиімді болуы тиіс. Негізгі мақсаттары тұжырымдалды.

1. Адрестік кеңістік тиімсіз пайдаланылғанның өзінде, миллиард хостты қолдау.
2. Маршруттау кестесінің көлемін кішірейту.
3. Маршруттауыштар дестені жылдам өңдеу үшін хаттаманы қарапайым ету.
4. Қауіпсіздікті сенімді түрде қамтамасыз ету (аудентификация және құпиялық).
5. Қызмет түріне аса көңіл бөлу, жеке алғанда, нақты уақытта деректер тасымалдағанда.
6. Көп адрестік тарату жұмысын, тарату аумағын көрсету арқылы қарапайым ету.
7. Хост жағдайына, оның адресін өзгерпей, өзгертулер енгізу.
8. Хаттаманың болашақта даму мүмкіндігі.
9. Бірнеше жыл ішінде ескі және жаңа хаттаманың бірге жұмыс жасауын қамтамасыз ету.

IPv6-ын құрастыру қазіргі Интернет қажеттілігіне байланысты IPv4 мүмкіндіктерін жақсартуға жағдай жасады. Осы айтылған барлық жағдайды қамтамасыз ететін хаттаманы табу үшін IETF пікірталасқа және ұсыныс жасауға шақыратын, RFC1550 құжатын шығарды. Ұсыныстардың көбі қойылған талаптарды толығымен қамтамасыз етпеді. 1992 жылдың желтоқсан айында салмақты жеті ұсыныс қарастырылуға алынды. Олардың мазмұны IP хаттамасын кішігірім өзгертуден, одан толығымен бас тартып, басқа хаттамамен алмастыруға дейін өзгеріп отырды.

Ұсыныстардың бірі – IP орнына CLNP қолдану болды. Ол өзінің 160-разрядты

адресімен, адрестік кеңістікті мәңгі қамтамасыз етер еді – бұл кеңістік, дүниежүзі теңізіндегі судың әр молекуласы өзінің кішігірім желісін (2^3 шамасындағы адрес) құрастырғысы келсе де жетер еді. Бұдан басқа, бұл хаттама екі негізгі желілік хаттаманы біріктірер еді. Алайда мұндай таңдау OSI әлемінде бір нәрсенің дұрыс жасалмағанын мойындау дегенді білдіреді, бұл интернет-айналасындағы саяси қателік болар еді. CLNP хаттамасының іс жүзінде IP-нан аз ғана айырмашылығы бар. Соңғы таңдау IP-нан CLNP-на қарағанда едәуір өзгеше хаттама ұпайына шешілді. CLNP хаттамасына қарсы тағы бір аргумент, мультимедияны тиімді тасымалдауды талап ететін қызмет түрін нашар қолдауы болды.

Ең жақсы үш ұсыныс, *IEEE Network Magazine* журналында жарияланды (Deering, 1993; Francis, 1993; Katz және Ford, 1993). Ұзақ талқылаулар, қайта жасалулар және бірінші орын үшін тартыстан кейін түрленген Дирилинг (Deering) және Фрэнсис (Francis) аралас версиясы таңдалды. Қазіргі кезде хаттама **SIPP (Simple Internet Protocol Plus – Қарапайым интернет-хаттама Плюс)** деп аталады. Жаңа хаттамаға **IPv6** белгілеуі берілді.

IPv6 хаттамасы қойылған талаптарды жақсы игереді. Ол IP хаттамасының артықшылығына ие және онда оның кейбір кемшіліктері жоқ (немесе олар онда аз), сонымен бірге бірнеше жаңа ерекшеліктері бар. Жалпы алғанда, IPv6 хаттамасы IPv4 хаттамасымен үйлесімсіз, бірақ басқа Интернет хаттамалары TCP, UDP, ICMP, IGMP, OSPF, BGP және DNS қоса алғанда барлығымен үйлесімді. Өте ұзын адресстермен жұмыс жасау үшін кейде кішігірім өзгертулер керек. IPv6 хаттамасының негізгі ерекшеліктері төменде талқыланады. Ол жайлы қосымша ақпаратты RFC 2460-тан 2466-дейінгі құжаттардан алуға болады.

Ең алдымен, IPv6 хаттамасының адрестік өрісі IPv4-нан ұзындау. Оның ұзындығы 128-бит, бұл хаттаманы құрастыру кезінде қойылған негізгі мәселені шешеді, іс жүзінде шексіз интернет-адресстерді қамтамасыз ету. Біз адресстер жайлы кейін тағы қысқаша еске саламыз.

IPv6 хаттамасының IPv4 хаттамасынан екінші елеулі айырмашылығы – десте тақырыбының қарапайымдылығы. Ол бар жоғы 7 өрістен (IPv4 болған 13 өріс орнына) тұрады. Сөйтіп, маршруттауыштар дестені жылдам өңдей алады, бұл өнімділікті жоғарылатады. Тақырыптың қысқа сипаттамасы төменде келтірілетін болады.

Үшінші жақсартылу – міндетті емес параметрлерді қолдаудың жақсартылуы. Бұл өзгеріс шын мәнінде елеулі болды, жаңа тақырыпта бұрын міндетті болған өрістер міндетті емес болды (себебі олар бұрында сирек қолданылатын). Сонымен бірге, міндетті емес параметрлерді ұсыну тәсілі өзгерді, бұл маршруттауыштар үшін өздеріне қатыссыз параметрлерді қарамауды жеңілдетіп, дестені өңдеуді жылдамдатты.

Төртіншіден, IPv6 хаттамасы қауіпсіздік тұрғысынан алға үлкен қадам жасады. IETF Интернетті жобалау мәселелік тобының алдында, 12 жасар баланың өз дербес компьютерінің көмегімен, банк немесе әскери базаны бұзғандығы жайлы жазылған, газет қиындылары толып жатқан болатын. Қауіпсіздік жүйесін қалай да жақсарту қажет екендігі түсінікті болатын. Аутентификация және құпиялық, жаңа

IP-хаттамасының кілтті қыры болып саналады. Түрлендіруден кейін, IPv4 хаттамасында, қауіпсіздік тұрғысынан айырмашылық біршама азайды.

Соңында, жаңа хаттамада қызмет көрсету сапасына аса көңіл бөлінген. Қызмет көрсету сапасын жақсарту бағытында түрлі ұмтылыстар бұрын да жасалған, бірақ Интернетте мультимедиялық трафиктің өсуіне байланысты оның өзектілігі жоғары.

IPv6 негізгі тақырыбы

IPv6 тақырыбы *5.49-суретте* көрсетілген. Версия өрісінде IPv6 үшін 6 саны (IPv4 үшін 4 саны) жазылады. Он шақты жылға созылатын, IPv4-нан IPv6-на өту кезеңінде маршруттауыштар осы өріс мәні бойынша жаңа стандарт дестесін ескісінен айыра алады. Мұндай тексеру процессордың бірнеше тактысын талап етеді, кей жағдайларда бұл қолайсыз, сонымен бірге тақырыпта деректерді тасымалдау арнасы жайлы ақпаратпен бірге демультеплекстеу хаттамасы көрсетілген, сондықтан бұл тексеруді орындамауға болады. Мысалы, Ethernet-те Түр өрісінің, IPv4- немесе IPv6-дестесінің пайдалы деректерін анықтайтын, бірнеше әртүрлі мәні бар. «Дұрыс жаса» және «Тез жаса» принциптерін басшылыққа алатын екі лагерь арасындағы пікірталас, ешбір шүбәсіз ұзақ және қатаң болады.

Дифференциалды қызмет көрсету өрісі (бастапқыда *Трафик класы*), нақты уақытта жеткізуге әртүрлі талап қоятын дестелерді ажырату үшін пайдаланылады. Олар дифференциалды құрылыммен бірге, қызмет көрсету сапасын қамтамасыз ету үшін қолданылады (IPv4-ның аттас өрісі тәрізді). Бұдан басқа, IPv4 хаттамасындағыдай, кіші 2 бит асыра жүктелу жайлы анық хабарлау үшін қолданылады.

Ағын белгісі өрісі жөнелтуші және қабылдаушы желіге дестенің белгілі бір қасиеттері және өңдеуге деген талаптары жайлы хабар беру үшін қолданылады. Ол үшін олардың арасында жалған байланыс орнатылады. Мысалы, әртүрлі хосттардағы екі үрдіс арасындағы дестелер ағынының кідіріске қатаң талабы болуы мүмкін, бұл өткізгіштік қабілеттілікті қорда сақтауды қажет етеді. Ағын алдын ала орнатылып, идентификатор алады. *Ағын белгісі* өрісінің мәні нөлден ерекше десте келген кезде, барлық маршруттауыштар өз кестелеріне қарап, оған қандай ерекше өңдеу керек екенін анықтайды. Сөйтіп, бірінші хаттама әртүрлі ішкі желілер артықшылығын біріктіруге тырысады: дейтаграмма илгіштігі және виртуалды арналар кепілдігі.

Қызмет көрсету сапасын қамтамасыз ету мақсатында әр ағын жөнелтуші адресімен, тағайындалған адреспен және ағын нөмірімен сипатталады. Бұл әр қос IP-адрес үшін 2²⁰ екпінді ағын құрастыруға болады дегенді білдіреді. Бұдан шығатыны, ағын нөмірі бірдей, бірақ жөнелтуші және қабылдаушы адрестері әртүрлі ағындар болып саналады. Маршруттауыштар оларды адрестері бойынша ажыратады. Арна нөмірі 1-ден бастап ретімен тағайындалмай, кездейсоқ таңдалады деп күтіледі, бұл маршруттауыштарға оларды тануды оңайлатады.



5.49-сурет. IPv6 бекітілген тақырыбы (міндетті өрістер)

Пайдалы жүктеме ұзындығы өрісі, *5.49-суретте* көрсетілген, 40-байттық тақырыптан кейін неше байт бар екенін хабарлайды. IPv4 тақырыбында, сәйкес өріс Толық ұзындық деп аталған және дестенің бүкіл ұзындығын анықтайтын. Жаңа хаттамада 40-байт тақырып жеке саналады. Бұл енді пайдалы жүктеме 65 515 байт орнына 65 535 байтты толығымен алады дегенді білдіреді.

Келесі тақырып өрісі жеңілдетілген тақырыпты пайдалану мүмкіндігінің құпиясын ашады. Мәселе, әдеттегі 40-байттық тақырыптан кейін қосымша (міндетті емес) тақырып кеңейтілімі жүруі мүмкіндігінде. Бұл өріс қосымша алты тақырыптың (осы сәттегі) қайсысы негізгі тақырыптан кейін жүретінін хабарлайды. Соңғы IP-тақырыпта *Келесі тақырып* өрісі транспорттық деңгей хаттамасының қандай өңдеуші программасына (демек, TCP немесе UDP) дестені беру керек екенін хабарлайды.

Транзиттік аумақтардың ең үлкен саны өрісі дестелерге желі бойымен шексіз шарлауға мүмкіндік бермейді. Ол мағынасы – IPv4 хаттамасындағы Өмір уақыты өрісімен бірдей. Бұл өріс әр транзиттік аумақтан өткен айын бірге кемиді. Теорияда, IPv4 хаттамасында бұл өріс десте өмірінің секундынан тұруы керек, алайда бір де бір маршруттауыш оны осы күйінде пайдаланған емес, сондықтан өріс аты пайдалану тәсіліне сәйкестендірілді.

Ары қарай *Жөнелтуші адресі* және *Қабылдаушы адресі* өрістері орналасқан. Дирингтің бастапқы ұсынысында (SIPP хаттамасында) 8-байттық адресер қолданылған, бірақ жоба қаралғанда 8-байттық адрес тек бірнеше онжылдыққа жетеді деп шешілді, ал 16-байттық адресер мәңгілікке жетуі тиіс. Кейбіреулер, 16 байт тым көп деп қарсы шықса, екінші біреулер OSI дейтаграммаларымен

үйлесімді болу үшін 20-байттық адрес болуын талап етті. Тағы бір фракция айнымалы адрес ұзындығы үшін тартысты. Ұзақ пікірталасдан кейін 16-байттық бекітілген ұзындық ең жақсы шешім деген келісімге келді.

16-байттық адрес ті жазу үшін жаңа белгілеу шарттары таңдалып алынды. IPv6-да адрестер төрт оналтылық санау жүйесіндегі сандармен, қос нүктемен ажыратылған сегіз топқа бөлініп жазылады. Мысалы:

8000:0000:0000:0000:0123:4567:89AB:CDEF

Көптеген адрестерде нөлдер саны көп болғандықтан, адрес жазудағы қысқартудың үш тәсілі рұқсат етілді. Біріншіден, әр топ басындағы нөлдерді жазбай кетуге болады, мысалы, 0123-ті 123 ретінде жазуға болады. Екіншіден, бір немесе бірнеше топ толығымен нөлден тұратын болса, оны қос қоснүктемен алмастыруға болады. Сөйтіп, жоғарыда келтірілген адрес төмендегідей жазылады:

8000::123:4567:89AB:CDEF

Соңында, IPv4 адрестері қос қоснүкте ретінде жазылып, содан кейін адрес ескі ондық форматта жазылады, мысалы:

::192.31.20.46

Бұл жайлы осыншалықты егжей-тегжейлі айтудың қажеті жоқ шығар, бірақ 16-байттық адрестердің мүмкін деген саны өте үлкен – 2^{128} , бұл шамамен Авогадро санынан да үлкен. Құрастырушылар Жер беріндегі әр молекуланы жеке IP-адреспен қамтамасыз етуді мақсат етпесе де, олар осындай қызметті қамтамасыз етуге жақын қалды.

Іс жүзінде адрестік кеңістіктің барлығы тиімді қолданылмайды, мысалы, телефон нөмірлерінің барлық комбинациясы пайдаланылмайтындай. Мысалы, Монхеттен телефон нөмірлері (код 212) толығымен бос емес, ал Ваймонг штатында (код 307) олар тіпті қолданылмайды. RFC 3194-те Дьюран (Durand) және Хуйтема (Huitema) өз есептеулерін келтіреді. Егер телефон нөмірлерін пайдалануды негізге алса, тіпті ең жайсыз сценарий жағдайында, Жер бетінің бір квадрат метріне (құрлық пен теңізді қоса алғанда) 1000 IP-адрестен артық келеді. Кез келген басқа ықтимал сценарийде бір квадрат метрге триллион адрес қамтамасыз етіледі. Сөйтіп жақын болашақта адрестер тапшылығы болуы мүмкін емес.

Ескі стандарттан не қалғандығын көру үшін IPv4 тақырыбын (5.41-суретті қараңыз) IPv6 тақырыбымен (5.49-суретті қараңыз) салыстырған пайдалы. *INL* өрісі жоқ, себебі IPv6-да тақырып ұзындығы бекітілген. *Хаттама* өрісі де алынып тасталған, себебі *Келесі тақырып* өрісі соңғы IP-тақырыптан кейін не бар екенін хабарлайды (демек, UDP немесе TCP-сегмент).

Фрагменттеуге қатысты өрістердің барлығы жойылды, себебі IPv6 фрагменттеудің мүлдем басқа амалын қолданады. Біріншіден, IPv6 хаттама-

сын қолдайтын барлық хосттар, дестенің қажет мөлшерін динамикалық түрде анықтауы тиіс. Бұл үшін біз 5.5.5-бөлімінде қарастырған Path MTU discovery технологиясы пайдаланылады. Қысқаша, хост тым ұзын IPv6-десте жөнелткен кезде, дестені ары қарай жөнелте алмаған маршруттауыш оны фрагменттеудің орнына, қателік жайлы мәлімдеме жібереді. Мәлімдемені алған хост бұл адреске жөнелтуді доғаруы тиіс. Ең дұрысы, маршруттауышты фрагменттеуге үйреткенше, хосттарды қажет көлемдегі десте жөнелтуге үйрету. Бұдан басқа, ең кіші десте мөлшері, 1024 байт деректер және оған қоса көптеген тақырыптарды жөнелту үшін 576-дан 1280-ге дейін үлкейтілді.

Соңғы, *Бақылау қосындысы* өрісі жойылды, себебі оны есептеу өнімділікті төмендетеді. Қазіргі кезде сенімді байланыс тораптары қолданылатын болғандықтан, ал арналық және транспорттық деңгейде өз бақылау қосындысы есептелетін болғандықтан, тағы бір бақылау қосындысы оны есептуге кететін өнімділік шығынын ақтамайды. Жойылған өрістерді алып тастау нәтижесінде қарапайым, шапшаң және иілгіш, үлкен адрестік кеңістігі бар желілік деңгей хаттамасы пайда болды.

Қосымша тақырыптар

Қалып қойған тақырып өрістерінің кейде қажеті болады, сондықтан IPv6 хаттамасында **қосымша тақырыптар** жаңа конценциясы (міндетті емес) енгізілген. Осы күнде қосымша тақырыптың алты түрі анықталған. Олар 5.7-кестеде келтірілген. Олардың барлығы міндетті емес, бірақ бірнеше қосымша тақырыпты пайдаланған жағдайда олар бекітілген тақырыптан кейін, көрсетілген ретпен орналасуы тиіс.

5.7-кесте

IPv6 қосымша тақырыптары

Қосымша тақырып	Сипаттамасы
Маршруттау параметрі	Маршруттауыштарға арналған түрлі ақпарат
Қабылдаушы параметрі	Қабылдаушы үшін қосымша ақпарат
Маршруттау	Десте жолындағы кейбір транзиттік маршруттауыштардың тізімі
Фрагменттеу	Дейтаграмма фрагменттерін басқару
Аутентификация	Жөнелтушінің шын екенін тексеру
Деректерді шифрлау	Шифрланған мазмұн жайлы ақпарат

Кейбір тақырыптардың форматы тұрақты, кейбіреулері ұзындығы айнымалы, айнымалы өрістер санынан тұрады. Олар үшін әр пункт үш түрінде кодталады (түрі, ұзындығы, мәні). Түр параметр коды жазылған, бір байттық өріс. Бұл өрістің бірінші екі битінде, параметрді қалай өңдеу керек екенін білмейтін маршруттауыштардың дестемен не істеуі керек екені жазылады. Келесідей төрт

нұсқа болуы мүмкін: параметрді өткізіп жіберу, дестені елемей, дестені елемей және кері ICMP-десте жөнелту, сонымен бірге тура алдыңғы нұсқа тәрізді тек, көп адресі тарату жағдайында ICMP-десте жөнелтпеу (бір дұрыс емес ICMP-десте миллиондаған ICMP-хабарлама туындатпас үшін).

Ұзындық өрісі мөлшері де 1 байт. Ол мәннің қаншалықты үлкен екені (0-ден 255-ке дейін) жайлы хабарлайды. Мән өрісі 255-ке дейінгі мөлшерде қажет ақпараттан тұрады.

Маршруттау параметрі тақырыбы, десте жолындағы маршруттауыштар зерттейтін ақпараттан тұрады. Әзірше, бұл параметрді пайдаланудың бір нұсқасы анықталды: 64 Кбайттан асатын дейтаграмманы қолдау. Тақырып форматы 5.50-суретте көрсетілген. Бұл жағдайда Пайдалы жүктеме ұзындығы өрісіне, бекітілген тақырыпта 0 мәні беріледі.

Келесі тақырып	0	194	4
Пайдалы жүктеме ұзындығы			

5.50-сурет. Үлкен дейтаграммалар үшін қосымша тақырып

Басқа қосымша тақырыптар сияқты Пайдалы жүктеме ұзындығы өрісі де келесі тақырып түрін көрсететін байттан басталады. Келесі байт, алғашқы 8 байтты санамағанда, байтпен берілген қосымша тақырып ұзындығынан тұрады. Барлық кеңейтілімдер осыдан басталады.

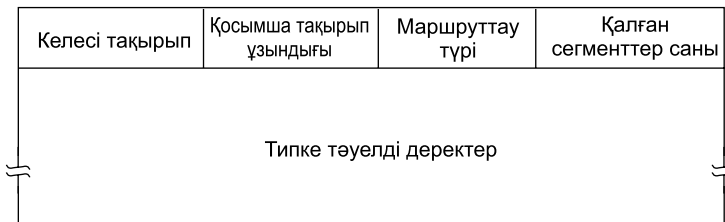
Келесі екі байт, параметрде 4-байттық сан түрінде дейтаграма ұзындығы жазылғанын көрсетеді (код 194). Көлем 65 536-дан кем болмауы керек, себебі бірінші маршруттауыш бұл дестені елемей, кері қателік жайлы ICMP-мәлімдеме жөнелтуі мүмкін. Осындай тақырып кеңейтілімін пайдаланатын дейтаграммалар **джамбограммалар (jumbograms)**, үлкен және икемсіз дегенді білдіретін “jumbo” сөзінен алынған) деп аталады. Джамбограмманы пайдалану Интернетке гигабайттық деректерді тиімді тасымалдау қажет, суперкомпьютерлік қосымшалар үшін маңызды.

Тақырып тек хост-қабылдаушы талдайтын өріске кеңейтіледі. IPv6 бастапқы версиясында, бұл тақырыпты 8 байтқа еселі болуға дейін толықтыру үшін, тек «нөлдік» баптаулар берілетін және тақырыптың өзі қолданылмайтын. Бұл егер болашақта кім де кім қосымша баптау жайлы ойласа, жаңа маршруттауыштар және хосттардың программалық жабдықтамалары оларды өңдей алуы үшін жасалған.

Маршрут тақырыбы қабылдаушыға барар жолда кіретін, бір немесе бірнеше маршруттауыш жайлы ақпараттан тұрады. Бұл IPv4-ның тізімде көрсетілген маршруттауыштарға реті бойынша, міндетті түрде кіруді талап ететін, ал көрсетілмеген маршруттауыштар олардың арасында орналасқан, еркін маршруттауына өте ұқсас. Маршруттау тақырыбы форматы 5.51-суретте көрсетілген.

Қосымша маршруттау тақырыбының алғашқы төрт байты төрт бір байттық

бүтін саннан тұрады. *Келесі тақырып* және *Қосымша тақырып* ұзындығы өрістері жоғарыда қарастырылды. *Маршруттау түрі* өрісі тақырыптың қалған бөлігінің форматын сипаттайды. Егер ол 0-ге тең болса, онда бұл ары қарай қорда сақталған 32-разрядты сөз, онан кейін бірнеше IPv6 адресінің бар екенін білдіреді. Болашақта, қажетінше жаңа өрістер ойлап шығарылуы мүмкін. Соңғы өріс, *Қалған сегменттер саны*, тізімдегі кіретін адрестер санын көрсетеді. Оның мәні әр адреске кірген сайын кемиді. Ол нөлге жеткен кезде, десте тағдыр еркіне қалдырылады, оның ары қарайғы маршруты жайлы ештеңе жазылмаған. Әдетте, бұл уақытқа дайын десте тағайындалған орынға жақын келеді және оңтайлы маршрут белгілі.



5.51-сурет. Маршруттау үшін қосымша тақырып

Фрагменттеу тақырыбы IPv4 хаттамасына ұқсас фрагменттеу тәсілін анықтайды. Тақырыпта дейтаграмма идентификаторы, фрагмент нөмірі және фрагменттің соңы екені жайлы ақпарат беретін бит орналасады. IPv4 ерекшелігі IPv6 хаттамасы да дестені тек хос-жөнелтуші фрагменттей алады. Маршруттауыштар тасымалданатын дестелерді фрагменттей алмайды. Бұл өзгерісті бастапқы IP философиясынан бас тарту деп санағанмен, ол қазіргі IPv4 рухында. Ол, оған қоса маршруттауыш жұмысын жеңілдетеді және жылдамдатады. Жоғарыда айтылғандай, маршруттауыш тым үлкен дестелерді қабылдамайды, жауап ретінде хост-жөнелтушіге, дестені фрагменттеп, қайта жөнелту керек екенін көрсетіп, ICMP-десте жібереді.

Аутентификация тақырыбы – десте жөнелтушінің дәл өзі екенін растау механизмі. Пайдалы жүктеме өрісінде орналасқан деректерді шифрлау құпиялықты қамтамасыз етеді: десте мазмұнын тек тағайындалған адресат қана оқи алады. Бұл есептерді орындау үшін тақырыптарда криптографиялық тәсілдер пайдаланылады, біз оларды 8-тарауда қарастырамыз.

Пікірталас

IPv6 хаттамасын құрастыру үрдісі өткен ашық және көптеген құрастырушылардың өз дұрыстығына шүбә келтірмейтін жағдайда көптеген шешімдердің қызу пікірталас нәтижесінде қабылданғаны ғажайып емес. Олардың кейбіреуі жайлы төменде айтылады. Барлық егжей-тегжейлер сәйкес RFC құжатында сипатталған.

Адрес ұзынды өрісі жайлы сөзталастар айтылған болатын. Нәтижесінде келісімге келіп, шешім қабылданды: 16-байттық ұзындығы бекітілген адрес.

Басқа тартыс, *Транзиттік аумақтардың ең үлкен саны* өрісі үшін орын алды. Қарсы лагерьлердің бірі – транзиттік аумақ санын 255-пен шектеу (бұл 8-биттік өрсті қолдану салдары) үлкен қателік деп санады. Іс жүзінде 32 транзиттік аумақтан тұратын маршрут бұл әдеттегі жағдай, ал 10 жыл өткеннен кейін бұдан да ұзын маршрут әдеттегі жағдайға айналуы мүмкін. Бұл көзқарасты ұстанған лагерь, мөлшері үлкен өрісті пайдалану көрегендік, ал транзиттік аумақ санаушының кіші болуы – болжамсыздық деп санады. Есептеу техникасы маманының ең үлкен күнәсі, бұл жеткіліксіз разрядтар санын бөлу.

Оларға жауап ретінде, кез келген өрісті ұлғайту үшін осындай аргументтер келтіруге болады, ал тақырыптың шамадан тыс өсуіне әкеледі делінді. Бұдан басқа, *Транзиттік аумақтардың ең үлкен саны* өрісінің міндеті, дестелердің ұзақ уақыт саяхаттауына жол бермеу, ал 65 535 транзиттік аумақ – бұл тым көп. Сонымен бірге, Интернеттің өсуіне байланысты, бұдан да көп халықаралық байланыс тораптары құрастырылатын болады, бұл дестелерді кез келген елден басқа кез келген елге бар-жоғы алты транзиттік аумақ арқылы жеткізуге мүмкіндік береді. Егер қабылдаушы немесе жөнелтушіден сәйкес халықаралық шлюзге дейін 125 транзиттік аумақтан көп болса, онда осы мемлекет магистралі дұрыс болмағаны. Нәтижесінде, тартыста 8-биттік санаушы жақтаушылары жеңіп шықты.

Пікірталас тудырған тағы бір дүние – дестенің ең үлкен мөлшері. Суперкомпьютер иелері десте мөлшерінің 64 Кбайттан жоғары болғанын талап етті. Суперкомпьютер тасымалдай бастағанда ол күрделі жұмыспен айналысады және әрбір 64 Кбайт сайын оның жұмысын үзе бергенді қаламайды. Үлкен дестеге қарсы аргумент, егер мөлшері 1 Мбайт десте 1,5 Мбит/с жылдамдықпен Т1 торапы арқылы тасымалданатын болса, онда ол торапты 5 секундқа алады, бұл интерактивті тұтынушыларға елеулі үлкен кідіріске әкеледі. Бұл сұрақта екі жақ мәмілеге келді: әдеттегі дестелер 64 Кбайт көлеммен шектеледі, бірақ үлкен мөлшердегі дейтаграммаларды қосымша тақырып көмегімен жөнелтуге болады.

Тағы бір пікірталас тудырған сұрақ, IPv4 бақылау қосындысын алып тастау. Біреулер бұны автомашинадағы тежеуішті алып тастаумен салыстырды. Бұл жағдайда, автомашина жеңіл және жылдам қозғалатын болады, бірақ күтпеген жағдайда қиындық туындауы мүмкін.

Бақылау қосындысына қарсы аргумент, өз деректерінің тұтастығының қамын ойлайтын әр қосымша, бақылау қосындысын транспорттық деңгейде бәрібір санайды, сондықтан желілік деңгейде тағы біреуінің болуы артық болады (бұдан басқа, бақылау қосындысы деректер тасымалдау деңгейінде де саналады). Одан бетер, тәжірибе көрсеткендей, бақылау қосындысын есептеу IPv4 хаттамасынның негізгі шығынын құраған. Бұл тартыста бақылау қосындысына қарсы лагерь жеңіске жетті, сол себепті біз білетіндей IPv6 хаттамасында бақылау қосындысы жоқ.

Мобильді хосттар маңында да пікірталас көп болды. Егер мобильді компьютер қозғалыс барысында Жер шарының екінші бетінен бір-ақ шыкса, ол бұрынғы

IPv6-адресін пайдалана ала ма немесе ол ішкі және сыртқы агенттер схемасын қолдануы керек пе? IPv6 хаттамасында мобильді хосттарды анық түрде қолдауды құрастыруды жақтаушылар пайда болды. Бұл талпыныстар сәтсіздікке ұшырады, себебі ешбір нақты сұрақ бойынша келісімге келе алмады.

Ең ыстық тартыс қауіпсіздік сұрағы маңында болды. Бұның қажет екенімен барлығы келісті. Қауіпсіздік жайлы тартыс, оның қайда және қалай жүзеге асыру керек екені жайлы болды. Біріншіден, қайда. Қауіпсіздік жүйесін желілік деңгейде орналастыру аргументі, бұл жағдайда ол, ешбір алдын ала жобалаусыз, барлық қосымшалар пайдалана алатын, стандартты қызмет түріне айналады. Қарсы аргумент нағыз қорғалған қосымшаға тек толассыз шифрлау қажет және шифрлауды ақпарат көзінің өзі жүргізуі тиіс, ал кері шифрлауды қабылдаушы өзі орындауы керек. Басқа жағдайдың бәрінде тұтынушы, өзі бақылай алмайтын, желілік деңгейде жүзеге асыру барысында кеткен қателіктерге тәуелді. Бұл аргументке жауап: қосымша кіріктірілген IP қорғаныс функциясынан бас тартып, оның бірін өз бетінше орындауына болады. Кері аргумент: желіге сенбейтін тұтынушылар хаттама жұмысын ауырлатып, тіпті ол өшірілген жағдайда да желі жұмысын баяулататын, өздері қолданбайтын функция үшін ақы төлегілері келмейді.

Қауіпсіздік жүйесінің орналасуы жайлы сұрақтың тағы бір қыры, көптеген елдерде (барлығында емес) криптографияға байланысты, қатаң экспорттық заңдар қабылданған. Кейбір елдерде, әсіресе Франция және Иракта тұрғындардың полициядан құпиясы болмау үшін криптографияны, тіпті ел ішінде пайдалануға қатаң тыйым салынады. Нәтижесінде, қуатты криптографиялық жүйені қолданатын IP хаттаманың кез келген жүзеге асырылуы Құрама Штаттар (көптеген басқа елдер) шеңберінен тыс экспортталмайды. Сөйтіп, екі программалық жабдықтама жиынтығын қолдауға тура келеді: бірі – ішкі қолданыс және екіншісі экспорт үшін. Бұған көптеген компьютер өндірушілер қарсы.

Пікірталас тудырмаған жалғаз сұрақ, ешкім IPv4-интернет жексенбі күні өшіріліп, дүйсенбі күні ертеңгісін IPv6-интернет қосылады деп күтпейді. Оның орнына алдымен, туннель арқылы (5.5.3-бөлімді қараңыз) әрекеттесетін IPv6 «аралдары» пайда болады. Өскен сайын IPv6 аралдары үлкен аралдарға біріктірілетін болады. Соңында барлық аралдар бірігіп, Интернет толығымен түрлендірілген болады.

Жоспар осындай. IPv6 енгізу оның осал жері болды. Көптеген операциялық жүйелердің оны қолдайтынына қарамастан, бұл хаттама әлі де аз пайдаланылады. IPv6 қандай да бір операторға, мысалы, мобильді операторға қосымша IP-адрес қажет болғанда пайдаланылады. Жаңа хаттамаға көшуді жеңілдету үшін, көптеген стратегиялар ойлап табылды. Соның бірі, IPv6-дестені IPv4 желісі арқылы жөнелтуді қамтамасыз ететін, туннельді автоматты баптау тәсілдері және хосттарға туннельдің соңғы нүктесін автоматты түрде анықтауға мүмкіндік беретін технологиялар. IPv4-сын және IPv6-сын да қолдайтын екі стекті хосттар, хаттаманы дестенің тағайындалған адресіне байланысты таңдайды. IPv6-на көшу шарасыз болған кезде, бұл стратегиялар үрдісті жылдамдатуға көмектеседі. Бұл жайлы толығырақ (Davies, 2008) басылымынан оқуға болады.

5.6.4. Интернеттің басқарушы хаттамалары

Деректерді тасымалдау үшін қолданылатын IP хаттамасынан басқа Интернетте, желілік деңгейде пайдаланылатын, бірнеше қосымша басқарушы хаттамалар бар. Оларға ICMP, ARP және DHCP жатады. Бұл бөлімде біз олардың барлығын, IPv4 версиясына сәйкес келетін кезегімен қарастырамыз (себебі, нақты осылар қазір кеңінен қолданылады). ICMP және DHCP хаттамаларының IPv6 сәйкес версиясы бар. NDP (Neighbor Discovery Protocol – көршілерді анықтау хаттамасы) хаттамасы APR эквиваленті.

ICMP – Интернет басқарушы мәліметтерінің хаттамасы

Интернет жұмысын маршруттауыштар қадағалайды. Егер дестені өңдеу кезінде маршруттауыш кездейсоқ істен шықса, ол жайлы **ICMP (Internet Control Message Protocol – Интернет басқарушы мәліметтерінің хаттамасы)** хаттамасы арқылы хабарланады. Хаттама, сонымен бірге, Интернетті тестілеу үшін қолданылады. ICMP хаттамасы көмегімен бірнеше түрдегі мәліметтер анықталған. Әр ICMP-мәлімдеме IP-дестеге салынады. Олардың ең маңыздысы 5.8-кестеде келтірілген.

5.8-кесте

ICMP-мәлімдемелердің негізгі түрлері

Мәлімдеме түрі	Сипаттамасы
Адресат қолжетімсіз	Дестені жеткізу мүмкін емес
Уақыт өтті	Дестенің өмір уақыты нөлге дейін түсті
Параметрлер мәселесі	Тақырып өрісі дұрыс емес
Ақпарат көзін өшіру	Тежеуші десте
Қайта адрестеу	Маршруттауышты географияға үйрету
Үн қатуға сұраныс және үн қату	Машинаның тірі екенін тексеру
Уақытша мөр таңбаға сұраныс және жауап	Дәл үн қату тәрізді тек уақытша мөр таңбамен
Маршруттауышты хабарлау / маршруттауышқа сұраныс	Жақын арадағы маршруттауышты табу

АДРЕСАТ ҚОЛЖЕТИМСІЗ (DESTINATION UNREACHABLE) мәлімдемесі маршруттауыш тағайындалған жолды таба алмаған кезде немесе *DF* биті бар дестені жеткізу мүмкін емес жайғдайда пайдаланылады, себебі оның жолында десте мөлшері кіші маршруттауыш бар.

УАҚЫТ ӨТТИ (TIME EXCEEDED) мәлімдемесі дестенің *Өмір уақыты* санауышы нөлге дейін кеміп, десте еленбеген кезде пайдаланылады. Бұл десте түйықталған түйін бойымен қозғалысының белгісі немесе таймер мәні тым төмен дегенді білдіреді. Осы мәлімдемені пайдаланудың бір қулығын 1987 жылы Ван Джейкобсон ұсынған – **traceroute** утилиті. Ол хосттан тағайындалған адреске дейінгі жол-

да орналасқан маршруттауыштарды анықтайды. Бұл жағдайда оған қолдаудың ерекше деңгейі қажет емес. Бұл тәсілдің жұмыс принципі – тағайындалған адреске өмір уақыты 1, 2, 3 және т.с.с дестелер тізбегін жөнелту. Санауыш нөлге жеткен маршруттауыштар, дестені қайта жөнелткен ретімен орналасады. Бұл маршруттауыштар, хостқа УАҚЫТ ӨТТІ мәлімдемесін тілалғыштықпен кері жөнелтіп отырады. Осы мәлімдемелер арқылы хост олардың IP-адрестерін анықтап, жол жайлы ақпарат алады. Әрине, УАҚЫТ ӨТТІ мәлімдемесі бұл үшін тағайындалған жоқ. Бірақ бұл барлық уақыттағы желіні ретке келтірудің ең пайдалы құралы болуы мүмкін.

ПАРАМЕТР МӘСЕЛЕСІ (PARAMETER PROBLEM) мәлімдемесі тақырып өрісінде дұрыс емес мән анықталғанын мәлімдейді. Бұл дестені жөнелткен хост немесе аралық маршруттауыш программалық жабдықтамасында қателік бар екенін көрсетеді.

АҚПАРАТ КӨЗІН ӨШІРУ (SOURCE QUENCH) мәлімдемесі, ертеде тым көп десте жөнелтетін хостарды тынышталту үшін қолданылған. Осындай мәлімдеме алған хост айналымын төмендету керек болған. Қазіргі уақытта мұндай мәлімдеме сирек қолданылады, себебі асыра жүктелу кезінде мұндай дестелер тек отқа май құйғандай, желіні одан әрі жүктейді. Сонымен бірге, оларға қалай жауап беру керек екені белгісіз. Қазір Интернеттегі асыра жүктелумен күрес негізінен транспорттық деңгейде жүргізіледі. Асыра жүктелу сигналы дестенің жоғалуы. Бұл *6-тапырауда* толық қарастырылады.

ҚАЙТА АДРЕСТЕУ (REDIRECT) мәлімдемесін маршруттауыш дестенің дұрыс адрестелмегенін көрген кезде, десте жөнелткен хостқа жібереді. Сөйтіп, маршруттауыш хостқа маршруттау жаңартуды ұсынады.

ҮНҚАТУҒА СҰРАНЫС (ECHO) және ҮНҚАТУ (ECHO REPLY) мәлімдемелері осы уақытта нақты адресаттың не қолжетімді, не тірі екенін анықтау үшін жөнелтіледі. ҮНҚАТУҒА СҰРАНЫС мәлімдемесін алған хост кері ҮНҚАТУ мәлімдемесін жөнелтуі керек. Бұл мәлімдемелер, хосттың іске қосылғаны немесе Интернетке қосылғанын тексеретін **ping** утилитасымен пайдаланылады.

УАҚЫТША МӨРТАҢБАҒА СҰРАНЫС (TIMESTAMP REQUEST) және УАҚЫТША МӨРТАҢБАМЕН ҮН ҚАТУ (TIMESTAMP REPLY) мәлімдемесінің қызметі де алдыңғыдай, тек жауапта мәлімдемені алған уақыт және жауапты жөнелткен уақыт көрсетіледі. Бұл мәлімдеме желі өнімділігін тексеру үшін қолданылады.

МАРШРУТТАУЫШТЫ ХАБАРЛАУ (ROUTER ADVERTISEMENT) және МАРШРУТТАУЫШҚА СҰРАНЫС (ROUTER SOLICITATION) мәлімдемесі хосттарға жақын арада орналасқан маршруттауыштарды анықтауға мүмкіндік береді. Хостқа дестені жергілікті желі шеңберінен тыс жөнелту үшін, кем дегенде осындай бір маршруттауыштың IP-адресін білу керек.

Аталған мәлімдемелерден басқа да анықталғандары бар. Олардың толық тізімі Интернетте www.iana.org/assignments/icmp-parameters адресі бойынша сақталған.

ARP адрестерді рұқсат ету хаттамасы

Интернетте әр машинаның бір немесе одан да көп IP-адресі болғанымен, десте жөнелту үшін бұл жеткіліксіз. Ethernet-карта тәрізді арналық деңгей желілік картасы, интернет-адрестерді түсінбейді. Мысалы, бір кезде шығарылған әр Ethernet желілік картаның 48-разрядты Ethernet-адресі бар. Ethernet желілік картасын шығарушылар IEEE-нен адрестерінің бірегейлігіне кепілдік беретін, Ethernet адрестер блогын сұрайды (бұл бір ЖЕЖ-де бірдей желілік карта болу шиеленісінен құтылуға мүмкіндік береді). Желілік карталар 48-разрядты Ethernet-адреске сүйене отырып, кадрларды жөнелтуге және қабылдауға мүмкіндік береді. Олар 32-разрядты IP-адрестер жайлы ешнәрсе білмейді.

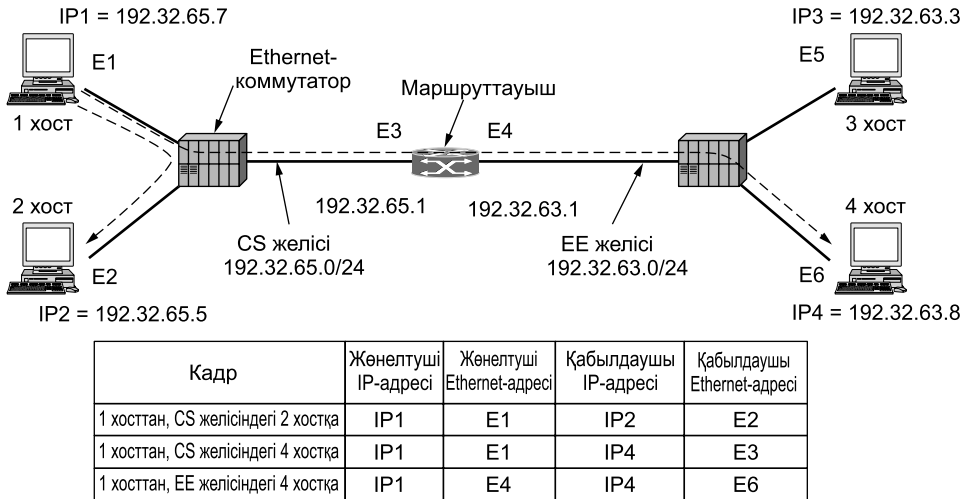
Сонымен, Ethernet-адрес тәрізді, IP-адреспен деректер тасымалдау деңгейінің адрестері қалай сәйкестендіріледі деген сұрақ туындайды? Бұның қалай жұмыс жасайтынын түсіну үшін, *5.52-суретте* көрсетілген мысалды қарастырайық. Мұнда, екі /24 желісі бар кішігірім университет бейнеленген. Суретте, біз коммутацияланатын екі Ethernet желісін көреміз: перфиксі 192.31.65.0/24 бір желі (CS) кибернетика факультетінде, ал екінші ЖЕЖ (EE) – перфиксі 192.31.63.0/24 электротехника факультетінде. Олар IP-маршруттауышпен байланысқан. Ethernet желісінің әр машинасында және маршруттауыштағы әр интерфейсте бірегей Ethernet-адрес (суретте E1-ден E6-ға дейін) және CS немесе EE желісінде бірегей IP-адрес бар.

Енді 1 хост тұтынушысының, CS желісінің 2 хост тұтынушысына дестені қалай жөнелтетінін қарастырайық. Айталық, жөнелтушіге қабылдаушы аты белгілі делік, мысалы, *eagle.cs.uni.edu*. Алдымен, 2 хосты үшін IP-адресі анықтау керек. Бұл домендер аты қызметі DNS (Domain Name System) арқылы жүзеге асырылады. Біз ол жайлы *7-тарауды* айтамыз. Осы уақытта, біз тек DNS қызметі 2 хосты IP-адресін (192.31.65.5) қайтарады деп болжаймыз.

Енді 1 хост жоғары деңгейінің программалық жабдықтамасы Қабылдаушы адресі өрісінде 192.31.65.5 мәні бар десте құрастырады және оны тасымалдау үшін IP-программаға береді. IP хаттамасының программалық жабдықтамасы адреске қарап, адресаттың CS желісінде орналасқанын көреді (демек өз желісінде). Бірақ оған қандай да бір жолмен қабылдаушының Ethernet-адресін анықтау керек. Мұндағы бір шешім жүйеде барлық жергілікті желілердің IP-адресіне сәйкес Ethernet-адресі жазылған конфигурациялық файлды сақтау. Мұндай шешім, әрине мүмкін, бірақ мындаған машинасы бар ұйымдарда осындай файлды жанарту көп уақытты талап етеді және қателікке ұшырағыш.

Бұған қарағанда табысты шешім, 1 хост Ethernet желісі арқылы «192.31.65.5 IP-адресі кімге тиесілі?» - деген кеңтаратылымды десте жөнелткені дұрыс. Бұл дестені CS Ethernet желісіндегі әр машина алады және әрқайсысы IP-адресі тексереді. Тек, 2 хост сұраққа өзінің E2 Ethernet-адресімен жауап береді. Сөйтіп, 1 хост, 192.31.65.5 IP-адресінің E2 Ethernet-адресі бар хостқа тиесілі екенін біледі. Осындай сұрақты беретін және оған жауап алатын хаттама **ARP (Address Resolution Protocol – адрестерді рұқсат ету хаттамасы)** деп аталады. Ол RFC 826 құжатында сипатталған. Ол Интернеттегі әр машинада жұмыс жасайды. ARP хаттамасының

конфигурациялық файлдан артықшылығы – оның қарапайымдылығы. Жүйелік әкімшілік әр машинаға тек IP-адрес беруі және ішкі желі маскасы мәселесін шешуі қажет. Қалғанының барлығын ARP хаттамасы орындайды.



5.52-сурет. Маршруттаушы арқылы байланысқан, коммутацияланатын екі Ethernet ЖЕЖ

Бұдан кейін, 1 хост IP хаттамасының программалық жабдықтамасы E2 үшін Ethernet-кадр құрастырып, оны 192.31.65.5-ке адрестелген IP-дестенің пайдалы жүктеме өрісіне орналастырып, Ethernet желісі арқылы жөнелтеді. Бұл дестенің IP- және Ethernet-адрестері 5.52-суретінде көрсетілген. Екінші хосттың Ethernet желілік картасы кадрды көріп, оның өзіне адрестелгенін байқайды, оқып үзіліс шақырады. Ethernet-драйвер, пайдалы жүктеме өрісінен IP-дестені алып, оны IP-программаға береді. Программа дестенің дұрыс адрестелгенін көріп, оны өңдейді.

ARP хаттамасы өнімділігін жоғарылатудың әртүрлі жолдары бар. Біріншіден, ARP хаттамасы жұмыс жасайтын машина адресі түрлендіру нәтижесін есте сақтап, сол машинамен тағы байланысқанда қолдануы мүмкін. Келесі жолы ол қажет адресі өз кәшінен табады, сөйтіп кеңтаралымды дестесін таратуға кететін уақытты үнемдейді. Екінші хостқа дестеге жауап жөнелтуге тура келеді, бұл да оның жөнелтуші адресін анықтау үшін ARP хаттамасына жүгінуін қажет етеді. Егер жөнелтуші ARP-дестеге өз IP- және Ethernet-адресін енгізсе, бұл үндеуді орындамауға болады. Кеңтаралымды ARP-десте 2 хостқа келген кезде қоссақ (192.31.65.7) 2 хостпен ARP-кәшінде болашақта пайдалану үшін сақталады. Бұдан бері, бұл қос адресі Ethernet желісінің барлық машиналары өзінде сақтай алады.

Адестер сәйкестігінің өзгерісіне рұқсат беру үшін, мысалы, егер хост жаңа IP-адресі пайдаланса (бірақ бұрынғы Ethernet-адрес қалады), ARP-кәшіндегі жазбалар бірнеше минут ішінде ескіреді. Кәштегі адрестер жайлы ақпарат өзектілігін сақтаудың және сонымен бірге өнімділікті жақсартудың жақсы әдісі бар. Мұндағы

ой, әр машина өзінің қос адресін баптау кезінде жөнелте алады. Әдетте, бұл кеңтаратылым, өз IP-адресін сұрайтын, ARP-десте түрінде жүргізіледі, Бұндай сұранысқа жауап болмайды, бірақ барлық машиналар осы қос адресі есте сақтай алады. Бұл ерікті **ARP-мәлімдеме (gratuitous ARP)** деп аталады. Егер жауап (кенеттен) келе қалса, онда ол екі машинаға бір IP-адрес тағайындалған дегенді білдіреді. Бұл машиналар желілік әкімшілік мәселені шешкенше желіні пайдалана алмайды.

Тағы да, *5.52-суретке* қарайық. Бұл жолы, 1 хост ЕЕ желісіндегі 4 хостқа (192.31.63.8) десте жөнелткісі келді делік. Бірінші хост қабылдаушы IP-адресінің CS желісіне жатпайтынын көреді. Ол мұндай сыртқы дестелерді кейде **үңсіз келісім шлюзі (default gateway)** деп аталатын маршруттауышқа жөнелту керек екенін біледі. Келісім бойынша, шлюз желідегі ең кіші адреске ие болады (198.31.65.1). Бірақ бұл маршруттауышқа кадр жөнелту үшін 1 хост маршруттауыш интерфейсінің CS желісіндегі Ethernet-адресін білуі керек. Сондықтан ол 198.31.65.1 үшін кеңтаралымды ARP-десте жөнелтіп, ЕЗ-ті біледі. Бұдан кейін ол кадр жөнелтеді. Дестелер тағайындалған адреске дейін, жолдағы бір маршруттауыштан екіншісіне осылайша беріледі.

Ethernet желілік картасы осы кадрды алған кезде, ол оны IP программалық құралдарына өңдеуге береді. Желілік маска арқылы маршруттауыш дестенің ЕЕ желісінің 4 хостына жеткізілуі керек екенін біледі. Егер оған, 4 хост Ethernet-адресі белгісіз болса, онда ол қайтадан ARP пайдаланады. CS және ЕЕ желісіндегі Ethernet- және IP-адресер тізімі *5.52-суреттегі* кестеде келтірілген. Бір кадр үшін әртүрлі желіде Ethernet-адресінің өзгеретініне, ал IP-адресінің өзгермейтініне (себебі олар барлық біріккен желідегі соңғы нүктені көрсетеді) назар аударыңыз.

Қабылдаушы жөнелтушінің басқа желіде орналасқанын білмейтіндей етіп, дестені 1 хосттан 4 хостқа жөнелту әдісі бар. Ол үшін маршруттауыш CS желісінің ARP-сұранысына өз ЕЗ Ethernet-адресін көрсетіп, жауап беруі керек. Кеңтаратылымды дестені көрмегендіктен, 4 хост жауап бермейді (маршруттауыштар Ethernet-деңгейінің кеңтаратылымды дестесін түзетпейді). Нәтижесінде маршруттауыш 192.32.63.8-ге арналған кадрды алып, оны ЕЕ желісіне жөнелту. Мұндай тәсіл **ARP-прокси (ARP proxy)** деп аталады. Ол маршруттауышқа, өзінің қандай да бір желіде бар екендігін ескерту қажет болатын, ерекше жағдайларда пайдаланылады. Мысалы, портативті компьютерге ол үй желісінен алшақ болған кезде дестелерді қабылдайтын тағы бір түйін қажет болған жағдайда.

DHCP түйінін динамикалық үйлестіру хаттамасы

ARP-хаттамасы (басқа да интернет-хаттамалар тәрізді) хосттар базалық мәліметтерді, мысалы, өз IP-адресін біледі деп болжайды. Бірақ хост бұл мәліметті қалай алады? Оларды қолмен баптауға болады, бірақ бұл үлкен еңбекті қажет ететін және жиі қателікке әкелетін үрдіс. Басқа ыңғайлы тәсіл бар: ол **DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol – хосттарды динамикалық баптау хаттамасы)** деп аталады.

Әрбір желінің баптауға жауап беретін, DHCP-сервері болуы керек. Іске қосылған кезде, әр компьютердің желілік картаға енгізілген Ethernet-адресі немесе арналық деңгейдің басқа адресі бар, бірақ IP-адресі жоқ. Өз IP-адресін табу үшін, компьютер кеңтаратылу тәсілімен арнайы DHCP DISCOVER дестесін таратады. Ол DHCP-серверге келуі тиіс. Егер бұл сервер желіге тікелей жалғанбаса, десте DHCP-серверге оның қайда орналасқанына қарамастан ретрансляцияланады.

Сервер бұл дестені алған кезде, ол бос IP-адресі алып, оны DHCP OFFER дестесінің (ол да ретрансляцияланады) көмегімен кері жөнелтеді. Тіпті, хосттың IP-адресі жоқ болған жағдайда да бұл мүмкін болу үшін, сервер хосты оның Ethernet-адресі бойынша анықтайды (DHCP DISCOVER дестесінде орналасқан).

Осы жерде сұрақ туындайды: қай кезде пулдан IP-адресі автоматты түрде беруге болады? Егер хост желіден кетіп, алған IP-адресі босатпаса, онда бұл адрес мәңгі жоғалады. Уақыт өте адрестер бұдан да көп жоғалатын болады. Бұл келеңсіздіктерді болдырмау үшін, IP-адресі мәңгілікке емес, белгілі бір уақытқа беру керек. Мұндай технология лизинг (leasing) деп аталады. Лизинг әрекетінің бітер алдында хост DHCP-серверге IP-адресі пайдалану уақытын созу жайлы сұраныс жіберуі керек. Егер мұндай сұраныс жіберілмесе немесе өтініш қабылданбаса, онда хост ертеде берілген адресі пайдалануға құқығы жоқ.

DHCP хаттамасы RFC 2131 және 2132 құжаттарында сипатталған. Ол Интернетте, кейбір параметрлерді баптау және IP-адрестерді беру үшін кеңінен қолданылады. Мекемелер және үй желісінен басқа, интернет-провайдерлер де DHCP пайдаланады. Құрылғыны баптау ақпаратын абоненттер өз провайдерінен телефон арқылы сұрамас үшін, провайдер оны интернет-байланыс арқылы баптайды. DHCP көмегімен желі маскасы, үнсіз келісім бойынша шлюздің IP-адресі, сонымен бірге DNS және уақыт сервері IP-адресі жиі жөнелтіледі. DHCP көбіне, функционалдығы әлдеқайда төмен өз бастамашысын алмастырды (RARP және BOOTP).

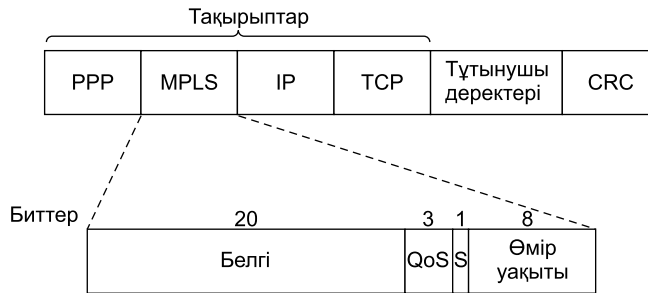
5.6.5. Белгілерді коммутациялау және MPLS

Осы уақытқа дейін, Интернет желілік деңгейімен саяхаттай отырып, IP-маршруттауыштар жөнелтетін дестелер мен дейтаграммалар жайлы айттық. Қазіргі кезде, желі арқылы интернет трафикті жөнелтуге мүмкіндік беретін тағы бір технология өте танымал болып келеді (әсіресе, провайдерлерде). Ол **MPLS (MultiProtocol Label Switching – белгілерді мультихаттамалы коммутациялау)** деп аталады және арнаны коммутациялауға қатерлі жақын аралықта орналасқан. Интернет-қауымдастығының көптеген мүшелері байланысқа негізделген желіге жақтырмай қараса да, бұл идея тағы да танымал болып келе жатқан тәрізді. Бір кезде Йоги Берра айтқандай, тағы да сол дежавю. Интернетте және байланысқа бағытталған желіде маршруттың жасалуында елеулі айырмашылық бар. Сондықтан бұл тәсіл – арнаны коммутациялау емес.

MPLS дестеге арнайы белгі тағайындайды және тасымалдау адрес бойынша

емес, осы белгі арқылы жүргізіледі. Егер белгіні ішкі кестеге қосса, шығыс арнасын таңдау осы белгіге сәйкес келеді. Бұл тасымалдауды әлдеқайда жылдамдатады. Алдымен, патенттелген технология ретінде әртүрлі атпен белгілі, мысалы, **белгілерді коммутациялау (tag switching)** осы идея MPLS негізіне жатты. Ақыры IETF мәселелік тобы идеяны стандарттаумен айналысты. Стандарт RFC 3031 және басқа да құжаттарда сипатталған. Уақытпен тексерілген негізгі артықшылық – иілгіш маршруттау және дестелерді жылдам тасымалдау, қажет қызмет көрсету сапасын қамтамасыз етеді.

Бірінші мәселе, белгіні қайда қою? IP-дестелер виртуалды арналарға арналмағандықтан, олардың тақырыбында виртуалды арна нөміріне орын қарастырылмаған. Демек, жаңа MPLS тақырыбын IP-дестенің басына қосу керек. Маршруттауыштар арасындағы торапта *5.53-суретте* көрсетілгендей, тақырыптарды қосатын PPP, MPLS, IP және TCP хаттамалары пайдаланылады.



5.53-сурет. MPLS, IP және PPP қолданып TCP-сегментті тасымалдау

Әдетте, MPLS тақырыбына төрт өріс кіреді. Олардың ең маңыздысы, мәні индекс болып келетін Белгі өрісі. Қызмет көрсету сапасы өрісі қолданылатын қызмет көрсету сапасын анықтайды. S өрісі белгілер стегімен байланысқан (ол жайлы төменде айтылады). Өмір уақыты өрісі, дестенің әлі де неше рет жөнелтілетінін көрсетеді. Оның мәні әр маршруттауышта кеміп отырады, егер ол 0 болса, десте еленбейді. Осының арқасында, маршруттау істен шыққан кезде, шексіз айналу болмайды.

MPLS желілік IP хаттамасы мен PPP арналық деңгей хаттамасының арасында орналасқан. Белгілер IP-адрес немесе желілік деңгейдің басқа адрес негізінде берілетін болғандықтан, бұл деңгейді үшінші деп атауға болмайды. Бірақ бұл екінші деңгей де емес, себебі MPLS дестені тасымалдауды бір емес бірнеше транзиттік аумақта қадағалайды. Сондықтан бұл хаттаманы кейде 2,5 деңгей хаттамасы дейді. Бұл нақты хаттаманың біздің кіршіксіз деңгейлік моделімізге әркез сай келмейтінін көрсетеді.

MPLS желілік деңгей дестесінің бір бөлігі және арналық деңгей кадрына да қатысы жоқ болғандықтан, MPLS екі деңгейге де тәуелсіз тәсіл болып саналады. Бұдан бетер, бұл қасиет, IP-дестені де, IP-десте емес дестені де тасымал-

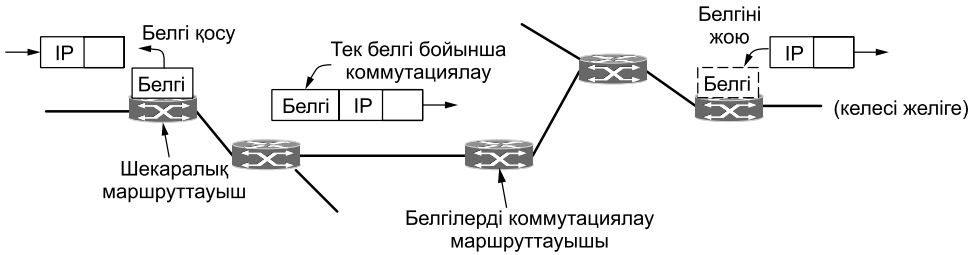
дай алатын, әр нақты жағдайда не керектігіне байланысты, MPLS коммутатор құрастыруға болатынын көрсетеді. Міне осыдан, тәсілдің атында көрсетілген «мультихаттамалығы», ол IP-дестені IP-желі емес желі арқылы тасымалдай алады.

MPLS тақырыбы негізінде кеңейтілген десте **белгілерді коммутациялау маршруттауышына (LSR, Label Switched Router)** келген кезде, одан алынған белгі шығыс торабы және жаңа белгі мәні анықталатын, кесте индексі ретінде пайдаланылады. Белгілерді алмастыру виртуалды арнасы бар барлық желілерде қолданылады. Белгінің тек жергілікті мәні бар, ал екі маршруттауыш тәуелсіз дестелерді, егер олар бір үшінші маршруттауыш торапына баратын болса, бір белгімен қамтамасыз ете алады. Сондықтан қабылданған бетте белгілерді ажырату үшін оларды әр өткел сайын алмастыру керек. Біз бұл механизмді іс жүзінде көрдік – ол *5.3-суретінде* графикалық түрде бейнеленген. MPLS-де дәл осы тәсіл қолданылады.

Кейде, *тасымалдау (forwarding)* және *коммутациялауды (switching)* ажыратады. Тасымалдау – дестені қайда жөнелтуді шешу үшін маршруттау кестесінен, тағайындалған адреске сәйкес адресі табу үрдісі. IP-тасымалдау, мысалы, ең ұзын сәйкес перфиксті іздеу алгоритмі бола алады. Коммутациялау кезінде, маршруттау кестесінде іздеу дестеден алынған белгі арқылы жүргізіледі. Бұл оңай және жылдам. Шыны керек, бұндай анықтама – тым әмбебап.

Көптеген маршруттауыштар және хосттар MPLS түсінбейтін болғандықтан, біз онда белгілер дестеге қалай қосылады деген сұрақ қояр едік. Бұл – десте MPLS-желі шекарасына жеткен кезде орын алады. **Шекаралық маршруттауыш (LER, Label Edge Router)** тағайындалған IP-адресі және басқа өрістерді тексеріп, дестенің қандай MPLS-жолмен жүруін анықтап, дестеге сәйкес белгіні береді. Сол арқылы десте MPLS-желіге жөнелтіледі. Келесі MPLS-желі шекарасына белгі керек емес, сондықтан ол жойылып, IP-десте басқа желі үшін ашылады. Бұл үрдіс *5.54-суретте* көрсетілген. Дәстүрлі виртуалды арнадан бір айырмашылығы – агрегациялау деңгейі. Әрине, MPLS-желі арқылы өтетін әр ағынға өз белгілер жиынтығын ұсынуға болады. Алайда осы маршруттауышта немесе осы ЖЕЖ-де аяқталатын және барлық осындай ағындар үшін бір белгіні пайдаланатын, ағындарды топтастыру амалы кеңінен таралған. Бірге топтастырылған және бірдей белгілері бар ағындар жайлы олар **эквивалентті тасымалдау класына (FEC – Forwarding Equivalence Class)** жатады дейді. Мұндай классқа, тек бір маршрут арқылы келе жатқан дестелер ғана емес, бір класс бойынша қызмет көрсетілетін (дифференциалды қызмет көрсету термині бойынша) дестелер де кіреді. Мұндай дестелер тасымалдау кезінде бірдей қабылданады.

Виртуалды арна көмегімен дәстүрлі маршруттау кезінде, соңғы нүктелері әртүрлі жолдарды бір виртуалды арнаға топтастыру мүмкін емес, себебі адресат оларды ажырата алмайды. MPLS дестеде тек белгі ғана емес, сонымен бірге тағайындалған адрес те бар, сондықтан белгіленген жол соңында белгісі бар тақырып жойылып, ары қарайғы маршруттау дәстүрлі тәсілмен жүргізіледі, желілік деңгей тағайындалған адресін пайдалану арқылы.



5.54-сурет. MPLS-желі арқылы IP-дестені тасымалдау

Іс жүзінде MPLS ары қарай жүреді. Бұл хаттама, бірнеше белгіні пайдаланып, бір мезгілде бірнеше деңгейде жұмыс жасай алады. Өзіңізге, анықталған адреске дейін бір жолмен жүруі тиіс, әртүрлі белгісі бар бірнеше дестені елестетіп көріңіз (мысалы, егер желі оларды әртүрлі жолмен өңдеу керек болса). Бұл жағдайда, біз барлық дестелерге бір жол бере аламыз. Белгісі бар дестелер жол басына келген кезде, десте басына жаңа белгі жазылады. Бұл белгілер стегі деп аталады. Ең шеткі белгі, дестенің жолдағы нұсқаушы болып саналады. Жол соңында ол жойылып, қалған белгілер (егер бар болса) дестені ары қарай алып жүреді. S биті (5.53-суретті қараңыз) белгіні жоюшы маршруттауышқа дестеде басқа белгінің қалғандығы жайлы білуге мүмкіндік береді. Биттің бірлік мәні, бұл стектегі соңғы белгі екенін, ал нөлдік мән кері жағдайды хабарлайды.

Соңында, белгі бойынша тасымалдау кестесінің қалай құрастырылғанын түсіну керек. Бұл сұрақта, MPLS дәстүрлі виртуалды арна схемаларынан едәуір ерекше. Дәстүрлі желіде байланыс орнатқысы келген тұтынушы жол құрастыру үшін орнатушы десте және кестедегі соған сәйкес жазбаны жөнелтеді. MPLS бұл жоқ, себебі бұл тәсілде әр байланыс үшін орнату фазасы мүлде жоқ (кері жағдайда, қолданыстағы Интернет программалық жабдықтамасының үлкен бөлігін алмастыру қажет болады).

Оның орнына, тасымалдауға қажет ақпарат, маршруттау және байланыс орнату хаттамасын біріктіретін арнайы хаттамамен беріледі. Бұл басқарушы хаттама толығымен белгіні тасымалдаудан ажыратылған, сондықтан көптеген басқарушы хаттаманы пайдалануға мүмкіндік бар. Бұл амалдың бірнеше жолы бар. Оның біреуі келесідей жұмыс жасайды. Маршруттауышты жүктеген кезде, оның қандай маршрут үшін тағайындалған пункт екені анықталады (мысалы, оның интерфейсіне қандай перфикстер жатады). Солар үшін бір немесе бірнеше FEC құрастырылады, олардың әрқайсына белгі беріліп, ол белгі көршілерге хабарланады. Көршілер, өз кезегінде бұл белгілерді өз тасымалдау кестесіне енгізеді және көршілеріне жаңа белгіні жөнелтеді. Үрдіс, барлық маршруттауыштар маршрут жайлы түсініктеме алғанша жалғасады. Жол құрастырылу барысында, ресурстар қорға енгізіледі, бұл тиісті қызмет сапасын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Басқа нұсқаларда басқа жолдар орнатылады (мысалы, қолданылмайтын өткізгіштік қабілеттілікті ескере отырып, трафикті басқару жолын орнату) немесе қажет қызмет сапасын қамтамасыз ететін «талап» бойынша жолдар орнатылады.

MPLS негізгі идеясы қарапайым болғанымен, тәсілдің егжей-тегжейі өте күрделі, тіпті бірнеше түрлендірмесі екпінді құрастыру сатысында. Қосымша ақпаратты (Davie және Farrel, 2008; Davie және Rekhter, 2000) басылымынан табуға болады.

5.6.6. Ішкі OSPF шлюз хаттамасы

Сонымен, біз Интернеттегі десте тасымалдау үрдісін қарастыруды аяқтадық. Жаңа тақырыпқа көшетін уақыт келді – Интернеттегі маршруттау. Осы уақытқа дейін айтылғандай, Интернет көптеген тәуелсіз желілерден немесе автономды жүйелерден (АЖ) тұрады. Олардың әрқайсысын түрлі ұйымдар – компаниялар, университеттер, провайдерлер басқарады. Әр автономды жүйе өзінің жекеменшік ішкі немесе **ішкідомендік (intradomain routing)** маршруттау алгоритімін пайдалана алады. Дегенмен азды-көпті таралған стандартты хаттамалар көп емес. Бұл бөлімде ішкідомендік маршруттау және танымал OSPF хаттамасы қарастырылады. Автономды жүйе ішіндегі маршруттау **ішкі шлюз хаттамасы (interior gateway protocol)** деп аталады. Келесі бөлімде, біз тәуелсіз желілер немесе доменаралық (interdomain routing) маршруттауды қарастырамыз. Бұл жағдайда барлық желілер бір маршруттау алгоритмін немесе **сыртқы шлюз хаттамасын (exterior gateway protocol)** пайдаланулары тиіс. Интернетте BGP (Border Gateway Protocol – желіаралық шекара хаттамасы) қолданылады.

Бастапқыда, ішкідомен маршруттау хаттамасы ретінде, Беллман-Форд (Bellman-Ford) таратылған алгоритіміне және ARPANET-тен мұраға қалған, арақашықтық векторы арқылы маршруттау схемасы пайдаланылған. Алдымен, бұл осы уақытқа дейін қолданылатын – RIP (Routing Information Protocol – маршруттық ақпарат хаттамасы). Ол кішігірім жүйелерде жақсы жұмыс жасады, бірақ автономды жүйелер ұлғайған сайын оның, шексіздікке дейін санау және баяу жинақтылық тәрізді кемшіліктері байқала бастады. Сондықтан 1979 жылдың мамыр айында канал қалып-күйі хаттамасымен алмастырылды. Интернетті жобалау мәселелік тобы (IETF, Internet Engineering Task Force) 1988 жылы, ішкідомендік маршруттау үшін, торап қалып-күйін есепке алатын хаттаманы құрастыру жұмысын бастады. Бұл хаттама, **OSPF (Open Shortest Path First – қысқа жолды артық көру арқылы тандаудың ашық алгоритмі)** деген атпен 1990 жылы стандарт ретінде қабылданды. Идея, ISO стандарты болып қабылданған, **IS-IS (Intermediate System to Intermediate System – аралық жүйелер арасындағы байланыс)** хаттамасынан алынған. Толық сипаттамасын RFC 2328 құжатынан қараңыз. Олар доменаралық маршруттау хаттамаларының негізгісі болып саналады және қазіргі уақытта көптеген маршруттаушы өндірушілермен қолданады. OSPF корпоративтік желілерде жиірек пайдаланылады, IS-IS – интернет провайдер желілерінде қолданылады. Төменде OSPF хаттамасы жұмысына қысқаша сипаттама беріледі.

Түрлі алгоритмдермен жұмыс жасаудың үлкен тәжірибесіне сүйене отырып,

құрастырушылар тобы өз әрекеттерін, қанағаттандыруды қажет ететін ұзын талаптар тізімімен сәйкестендірді. Біріншіден, бұл алгоритм ашық әдебиетте жариялану тиіс, осыдан OSPF-де «O» (Open – ашық) әріпі кірді. Осы сөзден, бір компанияға тиесілі патенттелген алгоритм қажет емес деуге болады. Екіншіден, жаңа хаттама түрлі параметрлердің кең спектрін, физикалық арақашықтық, кідіріс және т.б. есепке ала білуі тиіс. Үшіншіден, бұл алгоритм динамикалық және желі топологиясының өзгеруіне автоматты түрде және жылдам бейімделуі тиіс.

Төртіншіден (бұл талап бірінші рет нақты OSPF-ке қойылды), ол маршрутты қызмет түріне сәйкес таңдауы тиіс. Жаңа хаттама, нақты уақыт трафигі және басқа трафик түрлері үшін маршрутты әртүрлі таңдай білуі тиіс. Ол кезде IP-дестеде Қызмет түрі деген өріс болған, бірақ бар хаттамалардың бірде-бірі оны пайдаланған емес. Бұл өріс OSPF-де де болған, бірақ мұнда да оны ешкім пайдаланған жоқ. Нәтижесінде оны алып тастады. Мүмкін бұл талапты уақыт анықтаған шығар, себебі бұл қызмет көрсету кластарын қайтарған, дифференциалды қызмет көрсету пайда болмай тұрып ұсынылған болатын.

Бесіншіден, жаңа хаттама тораптағы жүктемені тарата білуі тиіс. Бұл алдыңғы пунктпен байланысты. Хаттамалардың көбі барлық дестелерді бір жақсы маршрутпен жөнелтеді, тіпті мұндай маршрут екеу болса да. Келесі оңтайлы маршрут тіпті қолданылмайды. Көптеген жағдайда, жүктемені бірнеше торапқа тарату жақсы өнімділік береді.

Алтыншыдан, иерархиялық жүйені қолдау қажет. Интернеттің 1988 жылға дейін өскені соншалық, оның толық топологиясы жайлы мәлімдемені бір маршруттауыш өзіне сыйдыра алмайды. Сондықтан жаңа хаттама құрастыру қажет.

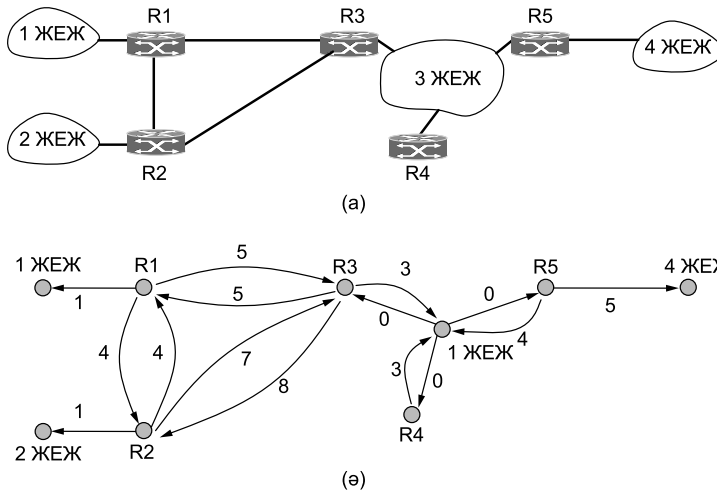
Жетіншіден, маршруттауышты алдап, маршрут жайлы қате ақпарат жөнелтетін қалжыңбас-студенттерден қорғайтын, ең төмен қауіпсіздік қажет. Соңында, Интернетпен туннель арқылы байланысқан маршруттауыштарға қолдау қажет. Алдыңғы хаттамалар мұнымен өте нашар жұмыс жасады.

OSPF хаттамасы екі нүктелік торапты (мысалы, SONET) және кеңтаратылымды желілерді (көптеген ЖЕЖ) қолдайды. Сонымен бірге, ол әрқайсысы кез келген басқа кез келген маршруттауышпен тікелей байланыса алатын **(көпшілік қолжетімді желілер – multi-access networks)** көп маршруттауышты желілерді қолдайды, тіпті оларда кеңтарату мүмкін болмаған жағдайда да. Алдыңғы хаттамалар мұны нашар орындаған.

5.55 *а-суретінде* автотомды жүйе мысалы келтірілген. Бұл жерде хосттар көрсетілмеген, әдетте олар аса үлкен рөл ойнамайды, маршруттауыштар және желі (құрамына хост кіретін) әлдеқайда маңызды. Көптеген маршруттауыштар басқасымен екінүктелі тораппен, сонымен бірге хостына қолжеткізу қажет желімен байланысқан. Бірақ R3, R4 және R5 кеңтаралымды ЖЕЖ-мен байланысқан, мысалы, коммутацияланатын Ethernet желісімен.

OSPF хаттамасы жұмысы негізінде желілер, маршруттауыштар және доғаға оның бағасы сәйкестендірілген (арақашықтық, кідіріс және т.б. физикалық параметрлермен ұсынылуы мүмкін), бағытталған граф түріндегі байланыстар жиыны жайлы түсінікті жалпылау жатыр. Екі маршруттауыш арасындағы екі нүктелік байла-

ныс, әр бағытта бір-бірден, қос доға ретінде бейнеленген. Олардың коэффициенттік салмағы әртүрлі болуы мүмкін. Кеңтаратылымды желі желінің өзі үшін түйін ретінде, ал әр маршруттауыш үшін де түйін ретінде берілген. Желілік түйіннен маршруттауышқа баратын доға салмағы нөл. Бірақ олар бәрібір маңызды, себебі оларсыз желі арқылы жол болмайды. Тек хосттардан тұратын басқа желілердің тек өздеріне бағытталған доғасы бар және олардан шығатын доға жоқ. Демек, хостқа маршрут бар бірақ олар арқылы – жоқ.



5.55-сурет. Көпшілік қолжетімді желі: а – автономды жүйе; ә – (а) графикалық түрде ұсыну

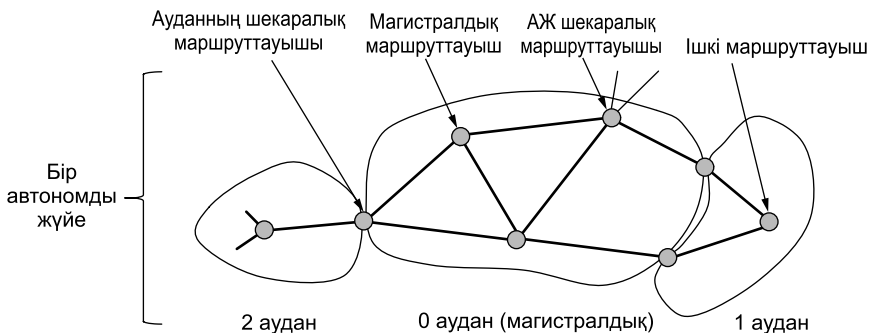
5.55 ә-суретінде, 5.55 а-суретіндегі желі граф түрінде берілген. OSPF ісжүзінде осыны орындайды. Граф түріндегі бейне алынғаннан кейін, маршруттауыштар, торап қалып-күйін есепке алу тәсілі арқылы, барлық басқа түйіндерге дейінгі ең қысқа жолды есептей алады. Кейде, бірдей екі қысқа жол болуы мүмкін. Бұл жағдайда OSPF екі жолды да есте сақтайды және трафикті бөлу үшін осы ақпаратты пайдаланады. Бұл жүктемені біркелкі бөлуге көмектеседі және **ECMP (Equal Cost MultiPath – теңбағалы маршруттар жиынын пайдалану)** деп аталады.

Интернеттегі көптеген автономды жүйелер өздігінен тым үлкен және оларды басқару жеңіл емес. Сондықтан OSPF хаттамасы оларды нөмірленген аудандарға, демек желілерге немесе сәйкес желілер жиынына бөлуге мүмкіндік береді. Аудандар бір-бірін баспауы керек, бірақ толық болуы міндетті емес. Демек кейбір маршруттауыштар ешбір ауданға тиісті болмауы мүмкін. Егер маршруттауыш толығымен бір ауданға жатса, онда ол **ішкі маршруттауыш (internal router)** деп аталады. Аудан жеке желінің жиынтығы болуы мүмкін. Аудан шеңберінен тыс оның адресі көрінеді, бірақ топологиясы көрінбейді. Бұл маршруттау үрдісін масштабтауды жеңілдетеді.

Әр автономды жүйенің, 0 аудан деп аталатын **магистралды ауданы (backbone area)** бар. Осы ауданда орналасқан маршруттауыштар **магистралды маршруттауыштар (backbone routers)** деп аталады. Аудандардың барлығы магистралмен байланысқан, мысалы, туннельмен, магистрал арқылы автономды жүйенің кез келген ауданынан басқа ауданына жету үшін. Графта туннель доға ретінде белгіленген және оның белгілі бір бағасы бар. Басқа аудандар тәрізді, магистрал топологиясы оның шеңберінен тыс көрінбейді.

Екі немесе одан да көп аудандармен байланысқан маршруттауыш **шекаралық маршруттауыш (area border router)** деп аталады. Ол да магистрал бөлігі болуы тиіс. Оның жұмысы – бір аудан бойынша адресстерді жинап, басқа аудандарға жөнелту. Бұл мәліметтер тасымалдау бағасына қосылады, басқа аудандар хосты, ауданға кіретін шекаралық маршруттауышты таңдап алуы мүмкін. Топология жайлы ақпараттың жоқтығы трафикті кішірейтеді және бұл аудан шеңберіне кірмейтін маршруттауыштар үшін ең қысқа жолды есептеу үрдісін жеңілдетеді. Егер аудан шеңберінен тыс тек бір шекаралық маршруттауыш болса, онда бұл мәліметтердің мағынасы жоқ. Аудан шеңберінен тыс шығатын жолдардың барлығы «Шекаралық маршруттауышқа барыңыз» деген нұсқаудан басталады. Мұндай аудан **тұйық аудан (stub area)** деп аталады.

Маршруттауыштардың соңғы түрі – автономды жүйенің **шекаралық маршруттауышы (AS boundary router)**. Олар аудан ішіне басқа АЖ сыртқы адресстері жайлы мәліметтерді беріп отырады. Сыртқы жолдар автономды жүйенің шекаралық маршруттауышы арқылы жететін адрес болады. Бұл жағдайда тасымалдау бағасы көрсетіледі. Сыртқы жол осындай бір немесе бірнеше маршруттауыштарға берілуі мүмкін. Автономды жүйелер арасындағы байланыс, аудандары және әртүрлі типті маршруттауыштарымен *5.56-суретте* көрсетілген. Бір маршруттауыш бірнеше рөл атқаруы мүмкін – мысалы, ауданның шекаралық маршруттауышы және магистралды маршруттауышы болуы мүмкін.



5.56-сурет. OSPF-ғы автономды жүйелер, магистралдар және аудандар арасындағы өзара байланыс

Алгоритм дұрыс жұмыс жасағанда, бір ауданға тиесілі маршруттауыштардың барлығында, арна қалып-күйі және ең қысқа жолды таңдаудың бір алгоритмі жай-

лы бір деректер базасы бар. Маршруттауыш жұмысы – өзінен, осы ауданның кез келген басқа маршруттауышына дейінгі ең қысқа жолды есептеу. Бірнеше аудандармен байланысқан маршруттауышта, олардың әрқайсысы үшін деректер базасы болуы керек. Ең қысқа жол әр аудан үшін жеке есептеледі.

Бір аудандағы жөнелтуші және қабылдаушы үшін аудан ішіндегі ең жақсы жол таңдалады (толығымен осы ауданда жататын). Әртүрлі аудандарда орналасқан жөнелтуші және қабылдаушы үшін ауданаралық жол жөнелтушіден магистралға дейін, сонан кейін магистрал арқылы тағайындалған ауданға дейін, сонан кейін тағайындалған адресатқа дейін жатады. Мұндай алгоритм «жұлдыз» типті құрылымға әкеледі. Мұндай магистрал концентратор рөлін атқарады, ал аудан жұлдыз сәулесі болып саналады. Маршрут таңдалғанда оның бағасы есепке алынатын болғандықтан, әртүрлі маршруттауыштар магистралға ауданның әртүрлі шекаралық маршруттауышы арқылы жетуі мүмкін. Дестелер жөнелтушіден қабылдаушыға бастапқы күйінде бағытталады. Олар басқа дестеге салынбайды және магистрал туннель арқылы байланысқан ауданға бармайтын жағдайда туннельденбейді. Бұдан басқа, сыртқы адресатқа баратын жолға сыртқы баға қосылады (шекаралық маршруттауыштан сыртқы жол арқылы) немесе тек ішкі (АЖ шеңберінде).

Жүктелу кезінде маршруттауыш СӘЛЕМ (HELLO) мәлімдемесін, өзінің барлық екі нүктелі торапы арқылы, барлық қалған маршруттауыштардан тұратын топ үшін жергілікті желілерге таратады. Алынған жауап арқылы әр маршруттауыш өз көршісімен танысады. Бір ЖЕЖ-нің барлық маршруттауыштары өзара көрші.

OSPF хаттамасы *сәйкес* маршруттауыштар арасында ақпарат алмасу арқылы жұмыс жасайды. Бұл *көрші* маршруттауыш деген емес. Жеке алғанда, әр маршруттауыштың жергілікті желінің әр маршруттауышымен хабарласуы тиімді емес. Сондықтан бір маршруттауыш тағайындалған **маршруттауыш (designated router – DR)** етіп таңдалады. Ол осы ЖЕЖ-нің қалған барлық маршруттауыштармен **шектеc (adjacent)** болып саналады және барлығымен ақпарат алмасады. Көрші маршруттауыштар шектес болып саналмайды, бір-бірімен ақпарат алмаспайды. Негізгі тағайындалған маршруттауыш істен шыққан жағдайда үнемі дайын күйде **қордағы тағайындалған маршруттауыш (backup designated router – BDR)** сақталады. Қалыпты жұмыс кезінде әр маршруттауыш, құю тәсілі арқылы кезең сайын АРНА ҚАЛЫП-КҮЙІН ЖАҢАҚТУ (LINR STATE UPDATE) мәлімдемесін, өзінің барлық сәйкес маршруттауыштарына жөнелтеді. Бұл мәлімдемеде маршруттауыш қалып-күйі жайлы ақпарат жазылады және оны пайдаланылатын деректер базасы бағасымен жөнелтеді. Әр мәлімдеме тезбек бойынша реттік нөмір алады, сондықтан маршруттауыш қайсысының жаңа екенін анықтай алады: келген мәлімдеме ме, әлде өзінде сақтаулы мәлімдеме ме? Маршруттауыштар да бұл мәлімдемені арна қосылып не өшкен кезде, немесе баға өзгерген кезде жөнелтеді.

ДЕРЕКТЕР БАЗАСЫ СИПАТТАМАСЫ (DATABASE DESCRIPTION) мәлімдемесі жөнелтушіде бар торап қалып-күйі жайлы мәлімдеменің барлық жазбалары реттік нөмірінен тұрады. Өз мәндерін жөнелтуші мәндерімен салыс-

тыра отырып, қабылдаушы кімдегі ақпараттың жаңа екенін анықтай алады. Бұл мәлімдемелердің барлығы торап қалпына келген кезде жөнелтіледі.

Әр маршруттауыш өз әріптесінен АРНА ҚАЛЫП-КҮЙІ ЖАЙЛЫ СҰРАНЫС (LINK STATE REQUEST) мәлімдемесі арқылы торап қалып-күйі жайлы ақпаратты сұрай алады. Нәтижесінде, әр шектес маршруттауыштар қосағы кімнің мәліметтері жаңарақ екенін анықтайды. Осылайша, ауданға жаңа ақпарат тарқайды. Бұл мәліметтердің барлығы IP-десте түрінде жөнелтіледі. Мәлімдеменің бес түрі *5.9-кестеде* келтірілген.

5.9-кесте

OSPF хаттамасының бес түрлі мәлімдемесі

Мәлімет түрі	Сипаттамасы
Сәлемдесу	Көршілермен танысу үшін пайдаланады
Арна қалып-күйін жаңарту	Көршілерге жөнелтуші арналары жайлы ақпаратты хабарлайды
Арна қалып-күйін растау	Арна қалып-күйінің жаңартылғандығын растайды
Деректер базасын сипаттау	Жөнелтуші ақпаратының қаншалықты жаңа екенін хабарлайды
Арна қалып-күйін сұрау	Әріптесінен ақпарат сұрайды

Нәтижені тұжырымдайық. Құю механизмінің көмегімен әр маршруттауыш өз ауданының қалған барлық маршруттауыштарды өзінің басқа маршруттауыштар және желілермен байланысы, оның бағасы жайлы хабардар етеді. Бұл ақпарат барлық маршруттауыштарға өз ауданының графын тұрғызуға және ең қысқа жолды есептеуге көмек береді. Магистралды аудан маршруттауыштары да осы жұмысты орындайды. Бұдан басқа, магистралды маршруттауыштар ауданның шекаралық маршруттауыштарынан ақпарат алады. Оның көмегімен олар әр магистралды маршруттауыштан қалған барлық маршруттауыштарға дейінгі оңтайлы жолды есептейді. Бұл ақпарат ауданның шекаралық маршруттауыштарына кері жөнелтіледі, олар оны өз аудандарында таратады. Осы ақпарат көмегімен ішкі маршруттауыш сыртқы адресатқа дейінгі оңтайлы жолды және сонымен бірге, магистралға шығысы бар ауданның шекаралық маршруттауышын таңдай алады.

5.6.7. BGP сыртқы шлюз хаттамасы

Бір автономды жүйе шеңберінде жиірек OSPF және IS-IS хаттамалары қолданылады. Әртүрлі автономды жүйелер арасындағы маршрутты таңдау кезінде басқа хаттама **BGP (Border Gateway Protocol – желіаралық шекаралық хаттама)** қолданылады. Әртүрлі автономды жүйелер арасындағы маршрутты таңдау үшін шынында басқа хаттама керек, себебі домен ішіндегі және доменаралық хаттамалардың мақсаттары әртүрлі. Домен ішкі хаттамасының мақсаты –

жөнелтушіден қабылдаушыға дейін дестелерді тасымалдаудың ең жоғары тиімділігімен шектеледі. Бұл хаттаманы саясат қызықтырмайды.

Доменаралық хаттама, керісінше, саясатпен айналысуға мәжбүр (Metz, 2001). Мысалы, корпаративті автономды жүйеге Интернеттің кез келген сайтына десте жөнелту, қабылдау мүмкіндігі қажет болуы мүмкін. Алайда жөнелтушісі және қабылдаушысы осы мемлекет шекарасынан сырт орналасқан дестенің автономды жүйеден өтуі ұнамсыз, тіпті жөнелтуші және қабылдаушы арасындағы ең қысқа жол осы автономды жүйе арқылы өтсе де («Бұл олардың қамы, біздің емес»). Екінші жағынан, осы қызметке арнайы ақы төлеген көршілер үшін трафик транзитінің өтуі ұнамсыз болуы мүмкін. Мысалы, телефон компаниялары тек өз клиенттеріне мұндай қызмет көрсетуге қуанар еді. Сыртқы шлюз хаттамасы және BGP хаттамасы да автономды жүйелер арасында маршрутты таңдау кезінде түрлі стратегияларды есепке алу үшін құрастырылған.

Әдеттегі маршрутты таңдау стратегиясы саяси, экономикалық факторларды, сонымен бірге қауіпсіздік жағдайын есепке алады. Маршрутты таңдау кезінде қойылатын әдеттегі шектеулерге мыналар жатады:

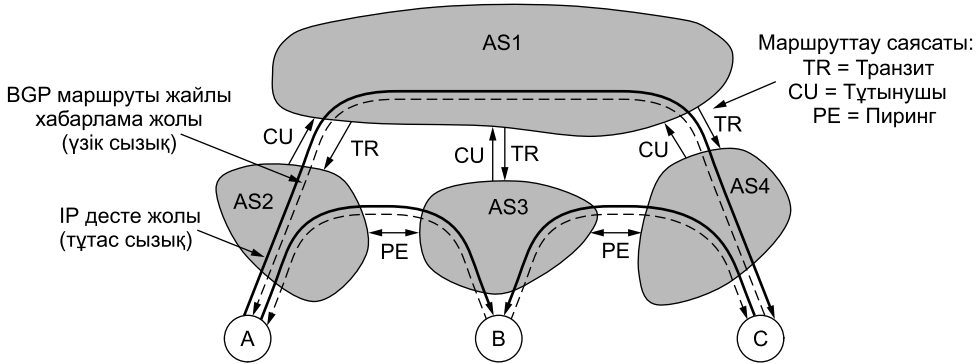
1. Коммерциялық трафикті білім желілеріне жөнелтпеу.
2. Ешуақытта Пентогонда басталған маршрутты Ирак арқылы жүргізбеу.
3. Verizon орнына TeliaSonera пайдалану, себебі ол арзан.
4. Австралияда AT&T қолданбау, себебі өнімділік төмен болады.
5. Apple басталып немесе Apple аяқталатын трафик Google арқылы өтпеуі керек.

Сіздер, өздеріңіз түсінгендей, маршруттау саясаты жоғары дәрежеде дербес сипатта болуы мүмкін. Қауіпсіздік тұрғысынан стратегиялар жиі жарияланбайды. Алайда компанияның мұндай таңдауын түсіндіретін схема бар. Мұндай схемалар жиі бастапқы нүкте ретінде алынады.

Маршруттау саясатын іске асыру мақсаты, трафиктің автономды жүйелерді байланыстыратын қандай арнамен жылжи алатынында. Танымал нұсқалардың бірі мынадай болып көрінеді: провайдер-клиент басқа провайдерге дестені Интернеттегі кез келген адреске жөнелткені және кез келген адрестен десте қабылдағаны үшін ақы төлейді. Бұл жағдайда, провайдер-клиент басқа провайдерден транзиттік қызмет сатып алады дейді. Бұл – қарапайым үй желісінің тұтынушысы провайдерден Интернетке қолжеткізу қызметін сатып алғанмен бірдей. Схема жұмыс жасау үшін провайдер абонентке, оларды байланыстыратын арна бойынша Интернет желісіндегі барлық адресстер маршруттын хабарлауы тиіс. Сонда абонент дестені жерге жөнелтуге болатын, кез келген маршрутты білетін болады. Және керісінше, абонент провайдерге өз желісі шеңберіндегі барлық адресстерді хабарлауы керек. Сонда провайдер тек осы адресстерге трафик бере алады, абонентке басқа біреуге арналған трафик керек емес.

Транзиттік қызмет түрін ұсыну 5.57-суретте көрсетілген. Біздің алдымызда, өзара байланысқан төрт автономды жүйе. Байланыс көбіне **интернет-трафикпен алмасу нүктесі (IXP, Internet eXchange Point)** арқылы жүзеге асырылады. Көптеген интернет-провайдерлер басқа интернет-провайдерлерге қолжеткізу үшін

инфрокұрылымды интернет-трафикпен алмасу нүктесіне қосады. AS2, AS3 және AS4 – AS1 клиенттері. Олар AS1-ден транзиттік қызметті сатып алады. Сөйтіп, А ақпарат көзінен С-ға жөнелтілген десте, AS2-ден AS1-ге, сонан кейін AS4 жөнелтіледі. Маршруттар жайлы хабарламалар кері бағытта қозғалады. Ақпарат көзі дестені С-ға AS1, AS4 арқылы жөнелте алу үшін өз провайдеріне (AS1) С-ны тағайындалған адрес ретінде хабарлайды. Бұдан кейін, AS1 С-ға дейінгі маршрутты, AS2-ні қоса, өзінің басқа клиенттеріне, олар да С-ға AS1 арқылы десте жөнелте алу үшін хабарлайды.



5.57-сурет. Төрт автономды жүйе арасындағы маршруттау саясаты

5.57-суреттегі, барлық қалған АЖ AS1-ден транзиттік қызмет сатып алады. Осының арқасында олар Интернеттегі кез келген хостпен байланыса алады. Бірақ бұл мүмкіндік үшін олар ақы төлеулері керек. Айталық, AS2 және AS3 үлкен трафикпен алмасады делік. Егер бұл желілер байланысқан болса, онда олар басқа саясатты тандай алады – трафикті тікелей және ақысыз жөнелту. Бұл олардың атынан AS1 арқылы жөнелтілетін трафикті азайтады және олардың шығындарын төмендетеді. Мұндай саясат **пиринг (peering)** деп аталады.

Пирингті жүзеге асыру үшін, екі АЖ бір-біріне өз адрестері үшін маршруттар жайлы хабарламаны беруі тиіс. Бұл AS2-ге дестені AS3-ке А-дан В-ға дейін және керісінше жөнелтуге мүмкіндік береді. Алайда, пирингтің транзитті емес екеніне назар аудару керек. 5.57-суретте AS3 және AS4 желілері де пиринг саясатын қолданады, сондықтан дестелер С-дан В-ға дейін тікелей AS4 арқылы жөнелтіле алады. Ал, егер дестені С-дан А-ға дейін жөнелту керек болса ше? AS3 AS4-ке В-ға дейінгі маршрутты хабарлайды, бірақ А-ға дейінгі маршрутты емес. Сол себепті, маршрут, физикалық жол бар болғанымен, AS4-тен AS3-ке дейін, содан кейін AS2-ге дейін өте алмайды. Міне, нақты осы AS3-ке тиімді. Ол AS4-пен трафик алмасқысы келеді, бірақ AS4-тің ол арқылы бүкіл Интернетке трафик жөнелткенін қаламайды. Оның орнына, AS4-ке С-дан А-ға дейін десте тасымалдайтын, AS1-дің транзиттік қызметін пайдалануға тура келеді.

Енді, біз транзиттік қызметтер және пиринг жайлы білген кезде, А, В және С

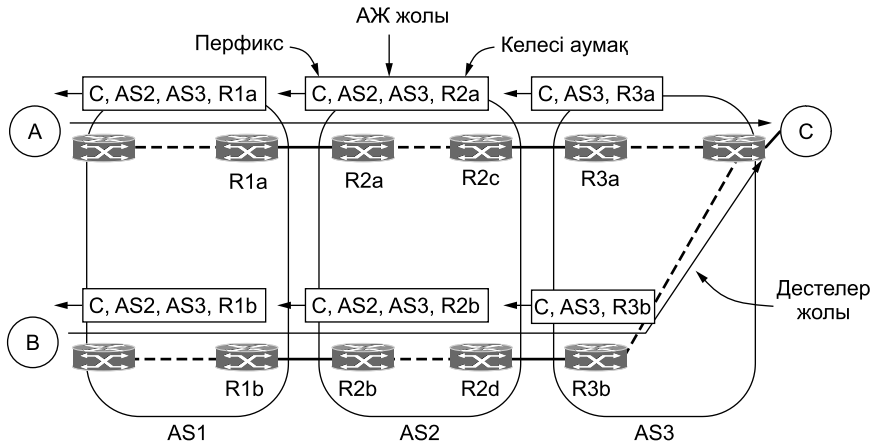
транзиттік келісіміне қарайық. Мысалы, А AS2-ден Интернетке қолжеткізуді сатып алады. А желісі бір компьютерден тұруы немесе ЖЕЖ жиыны бар компания желісі болуы мүмкін. Кез келген жағдайда, А-ға BGP пайдалану қажет емес, себебі ол бүкіл Интернетпен тек бір торап арқылы байланысқан **тұйық желі (stub network)** болып саналады. Желі сыртына дестені тек осы жалғыз торап арқылы жөнелтуге болады. Мұндай жолды үнсіз келісім бойынша тағайындауға болады. Сондықтан А, В және С суретте ішкі домендік маршруты бар автономдық жүйелер түрінде көрсетілмеген.

Екінші жағынан, компаниялардың кейбір желілері бірнеше интернет-провайдерлермен байланысқан. Бұл сенімділікті жоғарылату мақсатында жасалады, себебі бір провайдер жөнелтуден бас тартқан кезде, дестені басқа провайдер арқылы жөнелтуге болады. Бұл тәсіл **көпторапты байланыс (multihoming)** деп аталады. Бұл жағдайда, АЖ қандай провайдер арқылы трафик жөнелту керек екенін білу үшін компания доменаралық маршруттау хаттамасын пайдаланады (мысалы, BGP).

Маршруттау саясатының көптеген түрлері бар және бұл іскерлік қарым-қатынастың және маршруттау жайлы хабарламаларды бақылаудың жаңа саясатты құрауға әкелетіндігінің жақсы бейнеленуі. Енді BGP-маршруттауыштардың бір біріне маршруттау жайлы хабарламаларды қалай беретініне және дестені жөнелту үшін жолды қалай таңдайтынын талқылауға көшейік.

BGP іс жүзінде арақашықтық векторы арқылы маршруттау хаттамасының бір нұсқасы болып келеді. Алайда, ол мұндай хаттамалардан әлдеқайда ерекше, мысалы, **RIP (Routing Information Protocol – маршруттық ақпарат хаттамасы)** хаттамасынан. Біз жоғарыда көргендей, маршрутты таңдау кезінде ең кіші арақашықтық орнына оның саясаты есепке алынады. Тағы бір ерекшелік, өз көршілеріне уақыт кезеңі сайын мүмкін деген адресатқа дейінгі тасымалдау бағасы есептеулерін хабарлағанша, әр BGP-маршруттауыш көршілеріне өзі қолданатын дәл маршруттар жайлы хабар береді. Бұл амал маршруттау векторлар хаттамасы (**Path Vector Protocol**) деп аталады. Жол келесі маршруттауыштан (шектес болу міндетті емес, ол провайдер желісінің басқа бөлігінде болуы мүмкін) және АЖ тізбегінен немесе **маршрут өтетін (кері ретпен) АЖ жолынан (AS path)** тұрады. Қос BGP-маршруттауыш бір-бірімен TCP-байланыс арқылы әрекеттеседі. Сөйтіп, сенімді байланыс қамтамасыз етіліп, трафик өтетін желі құрылымының егжей-тегжейі құпия болп қалады.

Маршруттауыштардың маршрут жайлы хабарламамен алмасуы мысалы 5.58-суретте көрсетілген. Мұнда, біз үш автономды желіні көреміз және ортадағысы оң және сол жақ интернет-провайдерге транзиттік қызмет көрсетеді. С перфиксіне маршрутты хабарлау AS3-те басталады. R2c (жоғарыда) жеткенде, ол AS3 және келесі R3a маршруттауышынан тұрады. Төменде бұл маршрут сол АЖ жолын және басқа келесі маршруттауыштан тұрады, себебі ол басқа арна бойымен келді. Бұл хабарлама ары қарай таратылады және AS1 шекарасынан өтеді. R1a маршруттауышында (жоғарыда) АЖ жолы AS2 және AS3 тұрады, ал келесі маршруттауыш – R2a.



5.58-сурет. BGP-маршрут жайлы хабарламаның таралуы

Маршрут үшін толық жолды сақтау қайталануды анықтап түзетуді жеңілдетеді. Ереже мынадай: өз АЖ шеңберінен тыс маршрут жөнелтуші әр маршруттауыш, маршрут басына өз АЖ нөмірін қосады. (Міне, нақты осы себептен маршрут кері ретті). Маршруттауыш маршрут алған кезде ол АЖ жолында өз АЖ нөмірі бар екендігін тексереді. Оң жауап маршрутта қайталанудың бар екенін көрсетеді. Бұл жағдайда хабарлама ескерілмейді. Бірақ мұндай сақтық шараға қарамастан, 1990 жылдың соңында BGP-де шексіздікке дейін санау мәселесінің бір нұсқасына қақтығысатыны анықталды (Labovitz және басқалар, 2001). Ұзақ уақыттық қайталанудан құтылғанмен, маршруттауыштардың баяу жуықтасуы салдарынан қысқа уақыттық қайталану орын алуы мүмкін.

Жолды АЖ тізімімен беру – дөрекі нұсқа. АЖ кішігірім компания желісі, сондай-ақ халықаралық магистрал желісі болуы мүмкін. Маршрут бойынша бұны білу мүмкін емес. Ал BGP мұны білуге де тырыспайды, себебі әртүрлі АЖ-де әртүрлі доменаралық хаттамалар пайдалануы мүмкін, оның салдарынан трафик тасымалдау бағасын салыстыру мүмкін емес. Егер оларды салыстыру мүмкін болса, онда басқа мәселенің туындау ықтималдығы жоғарылайды: АЖ жиі өз ішкі параметрлерін жасырады. Бұл, доменаралық маршруттаудың ішкі домендік маршруттаудан негізгі айырмашылығы.

Осы уақытқа дейін біз екі интренет-провайдер арасында маршрут жайлы хабарламаның қалай берілетіндігі жайлы айттық. Алайда, сонымен бірге BGP-маршрутты, провайдер желісінің басқа бөлігіне де жөнелте білу қажет, ал ол жерден басқа провайдерлерге беру үшін. Бұл мәселені ішкі домендік хаттама шешуі тиіс. BGP ірі желілерде жақсы жұмыс жасайтын болғандықтан, бұл үшін оның тағы бір нұсқасы пайдаланылады. Ол, әдеттегі немесе **сыртқы BGP (eBGP – external BGP)** кері, **ішкі BGP (iBGP – internal BGP)** деп аталады.

Провайдер желісі ішінде маршруттың таралу ережесі келесідей: желі шекарасында орналасқан маршруттауыш басқа шекаралық маршруттауыштар білетін

барлық маршруттар жайлы біледі (олардың әрекеттері келісілген болу үшін). Егер қандай да бір шекаралық маршруттауышқа 128.208.0.0/16 IP-ге баратын перфикс белгілі болса, қалған басқа маршруттауыштар да ол жайлы біледі. Онда провайдер желісінің кез келген нүктесінен бұл перфикске дейін жетуге болады және дестенің бұл желіге қалай келгені маңызды емес.

Ретсіздік орын алмас үшін бұл үрдіс *5.58-суретінде* көрсетілмеген. Бірақ, мысал ретінде, мынадай нұсқаны келтіруге болады: R2b маршруттауышы С-ға дейін не R2c (жоғарыда), не R2d (төменде) арқылы баруға болатынын білді делік. Маршрут провайдер желісі арқылы жылжығанша, келесі маршруттауыш жайлы деректер жаңартылады. Осының арқасында, желінің әртүрлі басындағы маршруттауыштар басқа бетте желі шеңберінен қандай маршруттауыш арқылы шығуға болатынын біледі. Егер сол жақтағы маршрутқа қарасак, олар үшін келесі маршруттауыштың көрші желіде емес, осы желіде орналасқанын көруге болады.

Біз енді, маңызды сұрақты талқылауға көше аламыз: BGP-маршруттауыштар адресатқа дейінгі маршрутты қалай таңдайды? Әр BGP-маршруттауыш адресатқа дейінгі маршрутты, провайдердің көрші желісіндегі онымен байланысқан маршруттауыш арқылы біледі, сонымен бірге басқа шекаралық маршруттауыштардан (олар, басқа мүмкін маршрутты өз көрші маршруттарынан біледі). Ары қарай әр маршруттауыш, осы маршруттың қайсысын пайдалану дұрыс екенін шешеді. Соңында, маршрут таңдау саясатын интернет-провайдер шешетін болады. Алайда, мұндай түсініктеме тым жалпылама және қанағаттанарлық емес, сондықтан бернеше стратегия жайлы сөз қозғайық.

Бірінші стратегия, желі арқылы тікелей байланысқан маршруттардың, транзиттік маршруттарға қарағанда басымдылығы жоғары. Біріншісі ақысыз болып келеді, екіншісі – ақылы. Тағы бір ұқсас нұсқа бар: клиент маршрутына ең жоғары басымдылық беріледі. Бұл жағдайда, трафик ақы төлеушіге тікелей беріледі.

Басқа стратегия, үнсіз келісім бойынша мынадай ережені пайдаланады: АЖ жолы неғұрлым қысқа болса, соғұрлым жақсы. Бұл стратегияның артықшылығы күмәнді, себебі үш кішкене АЖ арқылы өтетін жол, бір үлкен АЖ арқылы өтетін жолдан қысқа болуы мүмкін. Алайда ең қысқа жолды таңдау орта есеппен алғанда жаман емес нәтиже береді, сондықтан шешім олардың өзінде қалады.

Соңында, провайдер желісі шеңберінде, таңдау ең арзан маршрутқа берілетін стратегия бар. Оны жүзеге асыру мысалы *5.58-суретте* көрсетілген. А-дан С-ға баратын десте AS1-ден R1a маршруттауышы арқылы шығады. В-дан шыққан десте төменгі R1b маршруттауышы арқылы шығады. Бұлай болу себебі, А және В AS1-ден шығудың ең аз шығынды жолын әдісін таңдайды. Олар провайдер желісінің әртүрлі бөлігінде орналасқандықтан, олар үшін ең жақсы жол да әртүрлі. Дестелер AS2 арқылы өткенде де осылай болады. Соңғы аумақта, AS3 В-дан шыққан дестені өз желісі арқылы өткізуі тиіс.

Бұл стратегия ерте шығу немесе «**қыстық картоп**» тәсілі (**hot potato routing**) деп аталады. Мұндай маршруттау кезінде жолдардың симметриялы болмайтындығы қызықты. С-дан В-ға жөнелтілген десте маршрутын қарастырайық. Десте AS3-тен

бірден жоғары маршруттауыш арқылы шығады. AS2-ден AS1-ге өткен кезде, ол жоғарыда қалады, ал содан кейін ұзақ уақыт AS1 ішінде саяхаттайды. Бұл В-дан С-ға дейінгі жолдың айналық бейнеленуі.

Мұның бәрі, әр BGP-маршруттауыш, бірнеше жол ішінен өз ең жақсы жолын таңдайды дегенді білдіреді. Бірақ алғашқы күтілгенге қарамастан, BGP әртүрлі АЖ арасындағы маршрутқа, ал OSPF – бір АЖ ішіндегі маршрутқа жауап береді деуге болмайды. BGP және ішкі шлюз хаттамасы бұдан да күрделі байланысқан. Жеке алғанда, BGP провайдер желісінен тыс шығудың ең жақсы нүктесін таба алады және нүктені таңдау, «ыстық картоп» стратегиясындағыдай, желінің әр бөлігі үшін әртүрлі болады. Сонымен бірге, бұл бір АЖ-нің әртүрлі бөлігіндегі BGP-маршруттауыш, АЖ-нің бір нүктесінен тағайындалған орынға дейін, әртүрлі жолды пайдалануы мүмкін дегенді білдіреді. Бұл жағдайда провайдер, таңдаудың мұндай еркіндігінде маршруттардың үйлесімді болуы жайлы қомқор болау тиіс, бірақ бұл енді практикаға байланысты.

Қанша ғажайып болса да, біз BGP хаттамсын пайдаланудың сәл шетін ғана аштық. Толық ақпарат алу үшін BGP 4 версия спецификасын RFC 4271 құжатынан және басқа RFC қараңыз. Алайда, көптеген қиындықтар маршруттау саясатына байланысты екенін есте сақтаңыз. Бұл жайлы BGP хаттамасының спецификасын да айтылмайды.

5.6.8. Интернеттегі көп адресі тарату

Әдетте IP-байланыс бір жөнелтуші және бір қабылдаушы арасында орнатылады. Алайда, кейбір қосымшалар үшін мәлімдемені бір мезгілде бірнеше көптеген тұтынушыларға жөнелту өте пайдалы. Мұндай қосымша ретінде, мысалы, деректер базасын жаңарту, брокерлерге биржа есебін беру және сандық телеконференция (бірге әңгімелесушілер арасындағы) болуы мүмкін.

IP хаттамасы, D класты адрестерде пайдаланған кезде, көп адресі таратуды қолдайды. D классының әр адресі хост тобына сәйкес келеді. Топ ншөмірін белгілеу үшін, 28 бит пайдаланылуы мүмкін, бұл бір мезгілде 250 млн топтың болуын қамтамасыз етеді. Үрдіс D класты адрес бойынша десте жөнелткен кезде, хаттама оның топ мүшелерінің барлығына жеткізу үшін бар күшін салады, алайда жеткізуге кепілдік бермейді. Топтың кейбір мүшелері дестені алмауы мүмкін.

IP адрестердің 224.0.0.0/24 диапазоны жергілікті желіде көп адресі тарату үшін қорға қойылған. Бұл жағдайда, маршруттау хаттамасы қажет емес. Десте, кеңтарату көмегімен, топ адресін көрсету арқылы бүкіл ЖЕЖ-не беріледі. Десте ЖЕЖ шеңберінен тыс жөнелтілмейді. Топ адрестерінің кейбір мысалы:

- √ 224.0.0.1 – жергілікті желінің барлық жүйелері;
- √ 224.0.0.2 – жергілікті желінің барлық маршруттауыштары;
- √ 224.0.0.5 – жергілікті желінің барлық OSPF-маршруттауыштары;
- √ 224.0.0.251 – жергілікті желінің барлық DNS-серверлері.

Басқа жағдайларда, топ мүшелері әртүрлі желілерде орналасуы мүмкін. Бұл

жағдайда маршруттау хаттамасы қажет. Көп адресіті мәлімдеме беретін маршруттауыштар алдымен, қандай хосттардың топ мүшесі екенін білуі тиіс. Үрдіс өз хостын қандай да бір хостқа қосылуды немесе топтан шығуын сұрауы мүмкін. Әр хост, өз үрдісінің осы сәтте қандай топ мүшесі екенін қадағалайды. Хосттың соңғы үрдісі топтан шыққан кезде, хост бұл топтың мүшесі болмайды. Шамамен минут сайын, әр көп адресіті маршруттауыш, өз жергілікті желісінің хосттарына (224.0.0.1 адресі бойынша), өз үрдістерінің осы кезде қандай топқа кіретіні жайлы хабарлауын сұрап, аппаратты (демек, деректер тасымалдау деңгейінде) көп адресіті тарату жасайды. Көп адресіті маршруттауыштардың, әдеттегі маршруттауыш орналасқан жерде болуы міндетті емес. Әр хост, оның *D* класты адресітерін қызықтыратындардың барлығына жауап қайтарады. Бұл сұраныс және жауап **дестелері IGMP (Internet Group Management Protocol – Интернетте топтарды басқару хаттамасы)** хаттамасын пайдаланады. Ол RFC 3376 құжатында сипатталған.

Жөнелтушілерден барлық топ мүшелеріне дейінгі жолды алуға көмектесетін байланыстырушы ағашты құрастыру үшін көп адресіті маршруттаудың әртүрлі хаттамалары қолданылады. Сәйкес алгоритмдер жайлы біз *5.2.8-бөлімде* айтқанбыз. Автономды жүйе ішінде **хаттама-тәуелсіз көп адресіті тарату (PIM, Protocol Independent multicast)** жиі пайдаланылады. PIM-ның бірнеше нұсқасы бар. PIM-да, қарсы жол бойымен жылжу тәсілімен, тығыз режимде (Dense Mode PIM) қысқартылған ағаш тұрғызылады. Бұл нұсқа, топ мүшелері желінің барлық бөліктерінде орналасқан жағдайда пайдалы – мысалы, файлдарды сервер жиындарына жөнелткенде. PIM-да, сиректелген режимде (Sparse Mode PIM) тамыры ядрода орналасқан ағашқа ұқсас, байланыстырушы ағаш тұрғызылады. Мұндай нұсқаны, мысалы, контент ұсынушы ТВ-сигналын өз IP-желі абоненттеріне трансляциялаған кезде пайдалануы мүмкін. Бұл схеманың нұсқасы, Source-Specific Multicast PIM деген атпен ақпарат көзі біреу болған жағдайда жақсы жұмыс жасайды. Соңында, егер топ мүшелері бірнеше АЖ орналасса, көп адресіті маршрут құрастыру үшін BGP хаттамасының арнайы кеңейтілімін немесе туннельдеуді қолдану керек.

5.6.9 Мобильді IP

Интернет тұтынушыларының көбінің портативті компьютерлері бар және жолда болған кезде де желіде болуды қалайды. Өкінішке орай, IP адресітеу жүйесіне мұны жүзеге асыру, айтқаннан әлдеқайда күрделі (біз бұл жайлы жақында толығырақ айтамыз). Мобильді хостқа деген қажеттілік едәуір артқан кезде, Интернетті жобалау мәселелік тобы (IETF, Internet Engineering Task Force) мәселені шешу жолдарын іздейтін жұмысшы топ құрастырды. Құрастырылған жұмысшы топ, тез арада шешу тәсіліне қарамастан, жетуге тиісті мақсаттар жиынын тұжырымдады. Негізгі ретінде келесі мақсаттар алынды:

1. Әр мобильді хост, өзінің үй IP-адресін кез келген жерде қолдана алуы керек.

2. Бекітілген хосттардың программалық жабдықтамасы өзгермеуі керек.
3. Маршруттауыштардың программалық жабдықтамасы және кестесі өзгермеуі тиіс.
4. Мобильді хосттарға арналған дестелердің үлкен бөлігі тікелей жеткізілуі тиіс.
5. Мобильді хост үйде болған кезде ешқандай қосымша шығын болмауы тиіс.

Жұмысшы топ *5.2.10-бөлімде* сипатталған шешімді құрастырды. Оның мәні, еске салайық, кеңістіктің кез келген қозғалыс мүмкін жерінде **ішкі агент (home agent)** құрастыру керек, делінген болатын. Мобильді хост жаңа орынға келген кезде, ол жаңа IP-адрес алады (тасымалдауға арналған адрес деп аталатын). Бұдан кейін, мобильді хост ішкі агентке, тасымалдауға арналған адрес көмегімен өз мекен-жайы хабарлайды. Егер, осы хостқа арналған десте үй желісіне келген кезде хост басқа жерде болса, сыртқы агент дестені тасымалдауға арналған адрес көмегімен хостқа туннельдейді. Мобильді хост жауап дестесін жөнелте алады, бұл жағдайда жөнелтуші адресі, үй адресі болады. Бұл шешім, мобильді хосттардың қайта қайталанатын дестелерінен басқа, жоғарыда аталған талаптапрудың барлығын қанағаттандырады.

Жаңа желіде тасымалдау адресін алу үшін, мобильді хост DHCP-ын қолдана алады. Немесе, егер, IP-адрес жетпесе, бұл хост дестелерді, осы желіде IP-адресі бар сыртқы агент арқылы жөнелтіп, қабылдай алады. Сыртқы агентті табу үшін хост, ішкі агентті іздеудегі сол ICMP-механизмін пайдаланады. Хост IP-адресі алғаннан кейін немесе сыртқы агентті тапқаннан кейін, ол желі арқылы ішкі агентке өзінің ағымдағы мекен-жайы жөнінде хабарлайды. Ішкі агент, мобильді хостқа арналған дестелерді тек хост үйдегі желіде жоқ болған кезде ұстап алады. Мұны ARP арқылы орындауға болады. Дестені Ethernet желісі арқылы IP-хостқа жөнелту үшін, маршруттауыш хосттың Ethernet-адресін білуі тиіс. Әдетте, маршруттауыш «160.80.40.20-ның Ethernet-адресі қандай» дегендей, ARP-мәлімдеме жіберіп, адресі сұрайды. Егер мобильді хост үй желісінде болса, онда ол өз IP-адресі бар мәлімдемеге, өз Ethernet-адресін көрсетіп жауап қайтарады. Егер, ол басқа жақта болса, бұл мәлімдемеге ішкі агент өз Ethernet-адресін хабарлап жауап береді. Нәтижесінде, маршруттауыш 160.80.40.20-ге арналған дестені үйдегі агентке жөнелтеді. Естеріңізде болса, бұл ARP-прокси деп аталатын.

Хост ары-бері қозғалыста болғанда, адресстерді бейнелейтін кестені жылдам жаңарту үшін еркін ARP-мәлімдеме (gratuitous ARP) деп аталатын, басқа тәсіл пайдаланылады. Мағынасы, мобильді хост немесе ішкі агент өз өзіне, IP-адрес үшін ARP-сұраныс жөнелтеді, бұл маршруттауышты кестедегі хост жайлы жазбаны өзгертуге мәжбүрлейді.

Ішкі агенттен мобильді хостқа дейін дестені туннельдеген кезде, дестеге тасымалдауға қажет адрес көрсетілген IP-тақырып қосылады. Десте осы адреске келген кезде сыртқы IP-тақырып жойылады.

Көптеген интернет-хаттамалар жағдайындай, шайтан егжей-тегжейде жасырынған, әсіресе, басқа хаттамалармен үйлесімділікті қажет ететін ұсақ-

түйекте. Мұнда, екі қиындық бар. Біріншіден, NAT-блокқа IP-тақырыптан кейін орналасқан, TCP және UDP-тақырыптарға қол жеткізу қажет. Мобильді IP үшін туннельдеудің бастапқы нұсқасы бұл тақырыптарды пайдаланған емес, сол себептен ол NAT-блокпен жұмыс жасаған емес. Кейіннен, тақырып қосу әдісін, UDP-тақырыпты қосып, өзгерту жайлы шешім қабылданды.

Екінші қиындық, кейбір провайдерлер IP-адресінің ақпарат көзінің, маршруттау хаттамасы пікірі бойынша орналасуға тиісті орынға сәйкестігін тексереді. Бұл үрдіс **кірісте сүзбеден өткізу (ingress filtering)** деп аталады және күдік тудыратын адрестен келген дестені қабылдамау үшін, қауіпсіздік шарасы болып санадады. Себебі ол қатер төндіруі мүмкін. Алайда, егер мобильді хост үй желісінде болмаса, оның дестелері басқа желі IP-адресінен келетін болады және сол себептен қабылданбауы мүмкін. Бұл мәселені айналып өту үшін мобильді хост дестелерді ішкі агентке, тамсымалдау адресі көмегімен туннельдеуіне болады. Осыдан жөнелтілген дестелер күдік тудырмайды. Схеманың кемшілігі, мұндай жол тікелей болмайды.

Тағы бір мәселе, қауіпсіздік. Ішкі агент, Натальи атына келген барлық дестелерді, қандай да бір IP-адреске салып жіберу жайлы сұраныс алған кезде, ол бұл сұраныс иесі Натальи екеніне көз жеткізбейінше, оған бағынуы тиіс. Бұл үшін криптографиялық аутентификация хаттамасы қолданылады. Біз оларды *8-таранда* қарастырамыз.

IPv6 арналған мобильділік хаттамасы IPv4 негізделген. Жоғарыда келтірілген схема, дестелер ішкі агентарқылы айналуға тиіс, үшбұрыштық маршруттау мәселесімен қақтығысады. IPv6 маршрутты онтайландыруды пайдаланады. Бұл, алғашқы десте ұзақ жолдан өткеннен кейін, мобильді хосттар арасында тікелей жол орнатуға көмектеседі. Мобильді IPv6 RFC 3775 құжатында сипатталған.

Интернет желісінде тағы бір мобильділік пайда бола бастады. Кейбір ұшақтарда, кіріктірілген сымсыз желі бар, оның көмегімен портативті компьютері бар жолаушылар Интернетке қосыла алады. Ұшақта, сымсыз байланыс арқылы Интернетке қосылған маршруттауыш бар. (Ал, сіз кабель арқылы деп ойладыңыз ба?) Сөйтіп, бұл іс жүзінде ұшақ маршруттауыш, демек бүкіл желі мобильді болып саналады. Желілер мобильділігін жүзеге асыратын схемалар, тасымалданатын компьютерледі, ұшақ қозғалысын елемей жұмыс жасайды. Олар мұны тек басқа желі деп санайды. Кейбір компьютерлер, үй желісімен байланысты үзбес үшін, мобильді IP қолданады. Бұл жағдайда біз мобильділіктің екі деңгейімен жұмыс жасаймыз. IPv6 желісінің мобильділігі RFC 3963 құжатында сипатталған.

5.7 ТҮЙІНДЕМЕ

Желілік деңгей транспорттық деңгейге қызмет көрсетеді. Оның негізінде не виртуалды арна не дейтаграмма жатуы мүмкін. Екі жағдайда да, оның негізгі жұмысы ақпарат көзінен қабылдаушыға дейінгі десте маршрутын таңдау. Виртуалды арнасы бар желілерде маршрутты таңдау виртуалды арна орнатылғанда жүзеге асырылады. Дейтаграммалық желілерді, ол әр десте үшін таңдалады.

Компьютерлік желілерде көптеген маршруттау алгоритмдері қолданылады. Қю – бұл дестелерді барлық жолдарға берудің қарапайым алгоритмі. Алгоритмдердің көбі, ең қысқа жолды анықтайды және желі тапологиясының өзгеруіне бейімделеді. Негізгі алгоритмдер арақашықтық векторы бойынша маршруттау және торап қалып-күйін есепке ала отырып маршруттау болып саналады. Қолданыстағы желілердің көбінде осы екі алгоритмнің бірі пайдаланылады. Маршруттаудың басқа маңызды тәсілдеріне үлкен желілерде иерархияны пайдалану, мобильді хосттар үшін маршруттау, кеңтарту, көп адрессті маршруттау және еркін маршруттау жатады.

Желілер, кідірісті ұлғайтатын және дестелердің жоғалуына әкелетін, асыражүктелу мәселесіне шалдыққыш. Желі құрастырушылары, өткізгіштік қабілеттілігі жеткілікті желі құрастыру, асыра жүктелмеген маршрутты таңдай, кіріс трафикке уақытша тыйым салу, ақпарат көзіне трафикті жөнелтуді баяулаты жайлы мәлімдеме жіберу және жүктемені түсіру тәрізді әртүрлі әдістермен асыра жүктелуді болдырмауға тырысады.

Асыра жүктелу мәселесін шешкеннен кейінгі келесі мәселе, кепілденген қызмет көрсету сапасына қол жеткізу. Кейбір қосымшалар алдымен, кідіріс және күлтілдеу жайлы емес, өткізгіштік қабілеттілік жайлы қамқор болады. Бұл үшін қолданылатын кешенді тәсілдер трафикті құрастыру, маршруттауыштардағы ресурстарды қорда сақтау, қол жеткізуді бақылауды қарастырады. Жақсы қызмет сапасын қамтамасыз ету үшін жасалған амалдар, IETF (RSVP-сын қоса) интегралданған және дифференциалданған қызметті қамтиды.

Әртүрлі желілер бір-бірінен едәуір ерекшеленеді, сондықтан оларды біріктіру кезінде қиындықтар туындайды. Егер желілерде дестенің ең үлкен мөлшері әртүрлі болса, онда фрагменттеу қолданылуы мүмкін. Әртүрлі желілер, маршруттаудың әртүрлі ішкі хаттамасын пайдалануы мүмкін, бірақ сыртқы маршруттау хаттамасы ортақ болуы керек. Кейде мәселені, десте айырмашылығы едәуір желі арқылы өткенде, оны туннельдеу арқылы шешуге болады. Бірақ, егер жөнелтуші және қабылдаушы әртүрлі желілерде орналасса бұл амалды қолдану мүмкін емес.

Интернетте желілік деңгейге қатысты көптеген хаттамалар пайдаланылады. Оларға дейтаграммалар хаттамасы – IP және сәйкесінше басқару хаттамалары – ICMP, ARP және DHCP жатады. Кейбір желілерде IP-дестені байланысқа бағытталған MPLS хаттамасы тасымалдайды. Желі ішінде қолданылатын, негізгі маршруттау хаттамаларының бірі – OSPF. Желілер арасында маршруттау үшін BGP хаттамасын қолданылады. Интернетке IP-адрестер жетіспейді, сондықтан IP хаттамасының жаңа версиясы, IPv6 құрастырылды. Бұл хаттама қазіргі кезде ендірілу үстінде, бірақ үрдіс тым баяу жүруде.

СҰРАҚТАР

1. Байланысқа бағытталған қызмет қолайлы екі қосымшаға мысал келтіріңіз. Содан кейін, ең жақсысы қызмет түрі байланыссыз қызмет деп санайтын, екі қосымша мысалын келтіріңіз.

2. Дейтаграмалық желіде әр десте үшін маршрутты басқаларына тәуелсіз таңдайды. Виртуалды арналар ішкі желісінде әр десте алдын ала таңдалған маршрутпен жүреді. Бұл, виртуалды арналар ішкі желісіне, еркін жөнелтушіден, еркін қабылдаушыға дейін жеке десте үшін маршрут таңдау қабілеттілігі қажет емес дегенді білдіре ме? Жауабыңызды түсіндіріңіз.
3. Байланыс орнатқан кезде келісуге болатын хаттама параметрлеріне, үш мысал келтіріңіз.
4. Барлық маршруттауыштар мен хосттар қалыпты жұмыс жасайды және олардың программалық жабдықтамаларында қателік жоқ делік. Аз да болса, десте тағайындалған адреске емес, қате адреске жеткізілу ықтималдығы бар ма?
5. Кез келген торап үзілгенде байланыстың сақталуына кепілдік беретін, ақты ақпарат көзінен, нақты адресатқа дейінгі екі жолды табудың қарапайым эвристикалық тәсілін көрсетіңіз (егер мұндай екі жол бар болса). Маршруттауыштар сенімді деп есептейміз, сондықтан олардың істен шығуын есепке алмаймыз.
6. *5.10-суретінде* берілген ішкі желіні қарастырыңыз. Векторлы арақашықтық маршруттау алгоритмі қолданылады. С маршруттауышына осы сәтте келесі векторлар келді: В-дан (5, 0, 8, 12, 6, 2); D-дан (16, 12, 6, 0, 9, 10); E-ден (7, 6, 3, 9, 0, 4). В, D және E-ге дейінгі өлшенген кідіріс, сәйкесінше 6, 3 және 5 құрайды. С маршруттауышының жаңа кестесі қандай болады? Пайдаланылатын шығыс тораптары мен күтілетін кідіріс уақытын көрсетіңіз.
7. Елу маршруттауыштан тұратын желіде төлемақы құны 8-биттік нөмір ретінде жазылады, ал маршруттауыштар әр секундта екі рет векторлармен алмасады. Маршруттаудың таратылған алгоритмі, әр тораптың (дуплексті) өткізгіштік қабілеттілігінің қандай бөлігін жейді? Әр маршруттауыш үш торап арқылы басқа маршруттауыштармен байланысқан деп есептейік.
8. *5.11-суреттегі* екі АСF-битінің логикалық НЕМЕСЕ жиынтығы әр қатар үшін 111-ге тең. Бұл кездейсоқ жағдай ма, әлде бұл барлық ішкі желілерде кез келген шартта сақтала ма?
9. Үш дейңгейлі иерархиялық маршруттау кезінде, маршруттау кестесін кішірейту үшін аймақтар мен кластерлердің қандай мөлшерін алу керек, маршруттар саны 4800? k кластерлер, k аймақтар және k маршруттауыш саны оңтайлы нұсқаға жақын деген гипотезадан бастаған дұрыс. Бұл, k саны шамамен 4800-ден алынатын үш дәрежелі түбірге тең (шамамен 16). Тексеру және қателесу әдістерінің көмегімен үш санды да 16-ға жақын болатындай етіп таңдаңыз.
10. Осыған дейінгі мәтінде мобильді хост үй желісінде жоқ болғанда, оның үй ЖЕЖ-не жіберілген дестелер, осы ЖЕЖ-нің ішкі агентімен ұстап алынады делінген. Осы, дестені ұстап алуды, ішкі агент 802.3 жергілікті желісі негізіндегі IP-желіде қалай орындайды?
11. *5.5-суретіндегі* В маршруттауышы неше кеңтаратылымды десте құрастырады.
 - 1) Кері бағыттағы жөнелту көмегімен?
 - 2) Кіріс ағашы көмегімен?

12. 5.13 *a-суретін* қарастырыңыз. Айталық, F және G арасында жаңа торап қосылды делік, бірақ 5.13 *a-суретіндегі* кіріс ағашы өзгеріссіз қалады. 5.13 *a-суретіне* қандай өзгерістер енгізу керек.
13. Төменде көрсетілген ішкі желідегі C маршруттаушы үшін, A, B, C, D, E, F, I және K маршруттауыштарынан тұратын топ үшін, көпардесте байланыс ағашын есептеңіз.
14. Айталық, 5.18-суретіндегі B түйіні осы сәтте асыражүктелді және өз кестесінде маршруттау жайлы ешқандай ақпараты жоқ делік. Кенеттен оған H түйініне дейінгі маршрут қажет болады. Ол кеңтаратылым әдісімен TTL жиынтығын 1, 2, 3 және т.б. жөнелтеді. Жолды табу үшін неше раунд қажет болады?
15. Вертикалды арнаны пайдаланатын ішкі желідегі асыра жүктелумен күрестің мүмкін механизмі ретінде, маршруттауыш қабылданған дестені растаудан қалыс қала тұруы мүмкін, біріншіден, ол өзінің виртуалды арна арқылы соңғы жөнелтуі ойдағыдай қабылданғанын біледі, екіншіден, оның бос буфері бар. Қарапайым болу үшін, маршруттауыш күтуі бар хаттаманы қолданады және әр виртуалды арнаның, трафиктің әр бағытына бөлінген бір буфері бар делік. Дестені жөнелту (деректерді немесе растауды) T с уақыт алады. Десте жолы n маршруттауыш арқылы өтеді. Дестелер адресатқа қандай жылдамдықпен жеткізіледі? Қателіктер өте сирек деп болжаймыз, ал хост және маршруттауыш арасындағы байланыс тіпті уақыт алмайды.
16. Дейтаграммалық ішкі желі маршруттауышқа қажет болғанда дестені қабылдамай тастауға рұқсат береді. Маршруттауыштың дестені қабылдамай тастау ықтималдығы p тең. Хосттан хостқа дейін екі маршруттауыш арқылы өтетін маршрутты қарастырыңыз. Егер, маршруттауыштың кез келгені дестені қабылдамай тастаса, жөнелтуші-хосттың күту уақыты аяқталып, ол дестені қайта жөнелтпек болады. Егер екі торап та (хост-маршруттауыш және маршруттауыш-маршруттауыш) транзиттік аймақ ретінде санасақ, онда орташа сан нешеге тең?
- 1) дестенің бір тасымалдау кезіндегі өтетін транзиттік аумақтар саны?
 - 2) бір десте үшін тасымалдау?
 - 3) дестені алу үшін қажет транзиттік аумақтар саны?
17. ECN және RED тәсілдерінің арасындағы негізгі айырмашылық неде?
18. Желі трафикті құрастыру үшін маркерлі шелек схемасын пайдаланады. Жаңа маркер шелекке әр 5 мкс сайын салынады. Әр маркер мөлшері 48 байт қысқа дестеге арналған. Желідегі дестелер тиасымалдаудың ең үлкен жылдамдығы қандай (тақырып битін санамағанда)?
19. Тасымалдау жылдамдығы 6 Мбит/с желіге жалғанған компьютер маркерлі шелекпен реттеледі. Маркерлі шелек 1 Мбит/с жылдамдықпен толтырылады. Оның бастапқы көлемі 8 Мбит. Компьютер неше уақыт 6 мбит/с толық жылдамдықпен тасымалдай алады?
20. 5.30-суретте көрсетілген желі, 1 және 2 хосттары үшін топтық тарату ағашында RSVP пайдаланады. Айталық, 3 хост, 1 хосттан келетін ағын үшін өткізгіштік қабілеттілігі 2 Мбит/с арна және 2 хосттан келетін ағын үшін

өткізгіштік қабілеттілігі 1 Мбит/с арна сұрады делік. Осы мезгілде 4 хост, 1 хосттан келетін ағын үшін өткізгіштік қабілеттілігі 2 Мбит/с арна, ал 5 хост, 2 хосттан келетін ағын үшін өткізгіштік қабілеттілігі 1 Мбит/с арна сұрады делік. Сұралған шарттарды қамтамсыз ету үшін, А, В, С, Е, Н, J, К және L маршруттауыштарында жалпы қандай өткізгіштік қабілеттілікті қорда сақтау қажет?

21. Маршруттауыш секундына 2 млн десте өңдей алады. Жүктеме орта есеппен секундына 1,5 десте құрайды. Егер, ақпарат көзінен қабылдауышқа дейінгі жол 10 маршуттауыштан тұратын болса, кезек құрастыруға және процессордың дестелерді өңдеуіне қанша уақыт кетеді?
22. Айталық, тұтынушы тығыз таратылымы бар дифференциалды қызмет түрін алады делік. Тығыз дестелердің, әдеттегі дестелерге дқарағанда аз кідіріспен жеткізілетініне кепілдік бар ма? Жауабыңызды түсіндіріңіз?
23. Айталық, А хосты $R1$ маршруттауышымен байланысқан. Ол өз кезегінде басқа маршруттауышпен байланысқан, $R2$, ал $R2$ – хостпен. 900 байт деректерден және 20 байт ТСП-тақырыптан тұратын ТСП мәлімдемесі, А хостында орналасқан IP-программаға, оны В хостына жеткізу үшін беріледі. Үш торап арқылы берілетін әр десте IP-тақырыбының *Жалпы ұзындық*, *Идентификатор*, *DF*, *MF* және *Фрагмент* ығысуы өрістерінің мәні қандай болады. А- $R1$ торабында кадрдың ең үлкен мөлшері, 14-байттық кадр тақырыбымен қоса есептегенде 1024 байт, $R1$ - $R2$ торапында кадрдың ең үлкен мөлшері, 8-байттық кадр тақырыбымен қоса есептегенде 512 байт, $R2$ -В торапында кадрдың ең үлкен мөлшері, 12-байттық кадр тақырыбымен қоса есептегенде 512 байт құрайды.
24. Маршруттауыш, жалпы ұзындығы (деректер және тақырыпты қоса есептегенде) 1024 байтқа тең IP-дестені өңдейді. Дестелер 10 с өмір сүреді деп болжап, маршруттауыштың IP-дейтараммалар нөмірінің сәйкестендірілген кеңістігінде қайталану қаупінсіз жұмыс жасай алатын тораптың ең үлкен жылдамдығын есептеңіз.
25. *Ақпарат көзінен қатаң маршруттау* параметрін пайдаланатын IP-дейтаграмма фрагменттелуі керек. Бұл параметр әр фрагментке көшіріле ме? Әлде оны бірінші фрагментке орналастыру жеткілікті ме? Өз жауабыңызды түсіндіріңіз.
26. Айталық, В класы адресінде, желі нөмірін белгілеу үшін 16 бит орнына 20 бит беріледі делік. Бұл жағдайда В класты желілер саны неше болар еді?
27. Он алтылық санау жүйесіндегі жазылуы C22F 1582 тең IP-адресі нүктемен ажыратылатын ондық санау жүйесіне түрлендіріңіз.
28. Интернет ішкі желісінің маскасы 255.255.240.0 тең. Осы ішкі желідегі хосттардың ең үлкен саны нешеге тең?
29. IP-адрес желілерді белгілеуге келеді, ал Ethernet-адреске жарамайды. Не себептен?
30. Көптеген IP-адресер 198.16.0.0 басталады. Мысалы, А, В, С және D ұйымдары сәйкесінше 4000, 2000, 4000 және 8000 адрес сұрады делік. Әр ұйым үшін бірінші және соңғы бөлінген адресі, сонымен бірге *w.x.y.z/s* түріндегі масканы көрсетіңіз.

31. Маршруттауыш дәл қазір келесі IP-адрестер жайлы ақпарат алды: 57.6.96.0/21, 57.6.112.0/21 және 57.6.120.0/21. Егер бұлар үшін бір маска және шығыс торабы пайдаланылатын болса, оларды агрегациялауға бола ма? Болатын болса, қалай? Болмаса, не себептен?
32. Келесі 29.18.0.0 IP-адресінен 19.18.128.255 дейінгі IP-адрестер 29.18.0.0/17 агрегацияланған. Дегенмен де, 29.18.60.0-ден 29.18.63.255-ке дейінгі, 1024 берілмеген адресстерден тұратын бос орын бар. Олар кенеттен басқа шығыс торабын пайдаланатын хостқа берілген. Осы себептен, агрегацияланған адресстерді бөліктерге бөліп, кестеге жаңа блокты қосып, қайта агрегациялауды қарастыру қажет пе? Агрегациялауға болмаса не істеу керек?
33. Маршруттауыш өз маршруттау кестесінде келесідей жазбаларды (CIDR) сақтайды:

Адрес/маска	Келесі ауысым
135.46.56.0/22	0-ші интерфейс
135.46.60.0/22	1-ші интерфейс
192.53.40.0/23	1-ші маршруттауыш
Үнсіз келісім бойынша	2-ші маршруттауыш

IP-адрестері келесідей дестені маршруттауыш қайда жөнелтеді?

- 1) 135.46.63.10
 - 2) 135.46.57.14
 - 3) 135.46.52.2
 - 4) 192.53.40.7
 - 5) 192.53.56.7
34. Көптеген компаниялар маршруттауыш істен шыққан кезде қандай да бір беріктік запасын қамтамасыз ету үшін компанияны провайдермен байланыстыратын бір немесе одан да көп маршруттауыш орнату стратегиясын ұстанады. NAT қолданылған кезде осындай саясат мүмкін бе? Жауабыңызды түсіндіріңіз.
35. Сіз жолдасыңызға ARP хаттамасы жайлы айттыңыз. Сіз түсіндіріп болғаннан кейін ол: «Түсінікті. ARP желілік деңгейге қызмет көрсетеді, сөйтіп ол арналық деңгей бөлігі болып саналады» деді. Сіз оған не деп жауап бересіз?
36. Дестені тағайындалған орында фрагменттерден жинау әдісін сипаттаңыз.
37. Фрагменттерді қайта жинау үшін қолданылатын буфер, жоғалған фрагмент салдарынан дейтаграмманың басқа фрагменттерімен толып кетпес үшін, IP-дейтаграммаларды фрагменттерден жинау алгоритмдерінің көбінде таймер қолданылады. Айталық, дейтаграмма төрт фрагментке бөлінді. Алғашқы үш фрагмент қабылдаушыға келіп жетті, ал төртіншісі жолда кідіріп қалды. Қабылдаушының күту кезеңі аяқталды және оның жадысында сақталған үш фрагмент жойылды. Соңғы фрагмент кешігіп, әйтеуір жетті делік. Онымен не істеу керек?
38. IP-дағы бақылау қосындысы деректерді емес, тек тақырыпты жабады. Сіз қалай ойлайсыз, бұндай схема неліктен таңдалды?

39. Бостонда тұратын кісі Миннеаполиске жол тартып, өзімен бірге жылжымалы компьютерін алады. Миннеаполистегі жергілікті желі, IP сымсыз желі болып шықты, сондықтан оған өз компьютерін қосудың қажеті жоқ болды. Дегенмен де, электронды пошта және басқа да трафиктер дұрыс жету үшін, ішкі және сыртқы агенттер процедурасын өту қажет пе?
40. IPv6 хаттамасы 16-байттық адресі пайдаланады. Егер, пикожелі секундына 1 млн адрестер блогын тағайындаса, бұл адрестер қанша уақытқа жетеді?
41. IPv4 тақырыбында қолданылатын Хаттама өрісінде, бекітілген тақырыпта IPv6 жок. Не себепті?
42. IP хаттамасының алтыншы версиясына көшкен кезде, ARP хаттамасын өзгертілу қажет пе? Егер қажет болса, бұл өзгертулер концептуалды ма, әлде техникалық па?
43. Маршруттаушыты құю тәсілімен модельдейтін программа жазыңыз. Әр дестеде, әр маршруттаушыта кемитін санауыш болуы тиіс. Санауыш нөлге дейін кеміген кезде, десте жойылады. Уақыт дискретті және әр торап, әр уақыт кезеңінде бір десте өңдейді. Осы программаның үш версиясын жасаңыз: тек k ең жақсы торапты құю (статикалық таңдалатын). Құюды, кідіріс және өткізгіштік қабілеттілікті пайдалану тұрғысынан, детерминалды маршруттаумен ($k=1$) салыстырыңыз.
44. Уақыты дискретті компьютерлік желіні модельдейтін программа жазыңыз. Әр маршруттаушы кезегіндегі бірінші десте, уақыт аралығында бір транзиттік аумақтан өтеді. Әр маршруттаушытың буферлер саны шектелген. Келген дестеге орын жетпесе ол жойылады және қайта жіберілмейді. Оның орнына, ақыры маршруттаушы-ақпарат көзінің дестені қайта жөнелтуіне әкелетін, растау дестесі және тайм-аут бар толассыз хаттама пайдаланылады. Желінің өнімділік графигін, қателік жиілігінің әртүрлі мәнінің қатысты, толассыз күту уақыты функциясы ретінде тұрғызыңыз.
45. IP-маршруттаушыта тасымалдауды жүзеге асыратын функцияны жазыңыз. Процедураның бір параметрі – IP-адресі, болуы керек. Үштік мәндер массивінен тұратын, ауқымды кестеге қолжеткізуге болады. Әр үштік келесі бүтін мәндерден тұрады: IP-адрес, ішкі желі маскасы және шығыс торапы. Функция, CIDR пайдаланып, кестедегі IP-адресі іздейді және шығыс торап нөмірін қайтарады.
46. *Traceroute* (UNIX) және *tracert* (Windows) программаларын пайдаланып, өз компьютеріңізден әлемнің әр түрлі университеттеріне дейінге маршрутты зерттеңіз. Трансмұхиттық тораптар тізімін құрастырыңыз. Міне кейбір адрес-тер:
www.berkeley.edu (Калифорния)
www.mit.edu (Массачусетс)
www.vu.nl (Амстердам)
www.ucl.ac.uk (Лондон)
www.usyd.edu.au (Сидней)
www.u-tokyo.ac.jp (Токио)
www.uct.ac.za (Кейптаун)

Authorized translation from the English language edition, entitled **COMPUTER NETWORKS, 5th Edition; ISBN 0132126958; by TANENBAUM, ANDREW S.; and WETHERALL, DAVID J.; published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall. Copyright © 2011 by Pearson Education, Inc.**

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc. **KAZAKH language edition published by ASSOCIATION OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF KAZAKHSTAN. Copyright © 2013.**

«Компьютерлік желілер» деп аталатын ағылшын тілінен аударылған басылымның автор мақұлдаған аудармасы, 5-басылым; ISBN 0132126958; авторлары: Эндрю С. Таненбаум және Дэвид Дж. Уэзеролл; Prentice Hall атынан басып шығаратын «Pearson Education, Inc» баспасында жарық көрген. Copyright © 2011 Pearson Education, Inc.

Барлық құқықтар қорғалған. Бұл басылымның ешқандай бөлігі кез келген формада, электронды немесе қағаз жүзінде және фотокөшіру, жазу сияқты басқа әдістер арқылы көшіріліп алынбайды немесе көшірмесі жасалынбайды, сондай-ақ Pearson Education-ның рұқсатынсыз іздестіру жүйесіне енгізілмейді. Қазақ тіліндегі басылымды Қазақстан Республикасы жоғары оқу орындарының қауымдастығы жарыққа шығарды. Copyright © 2013.

Қазақ тіліне аударған
А. М. Махметова, С. Б. Беркімбаева

Таненбаум Э. С., Уэзеролл Д. Дж

КОМПЬЮТЕРЛІК ЖЕЛІЛЕР. 1-БӨЛІМ

ОҚУЛЫҚ

Басуға 27.12.13 қол қойылды. Қағазы офсеттік. Қаріп түрі «Times». Пішіні 70x100^{1/16}.
Баспа табағы 34,5. Таралымы: Мемлекеттік тапсырыс бойынша – 935 дана +
баспа есебінен – 65 дана. Тапсырыс № 250.

Тапсырыс берушінің дайын файлдарынан
басылып шықты.



ЖШС РПБК «Дәуір», 050009,
Алматы қаласы, Гагарин д-лы, 93а.
E-mail: rpik-daur81@mail.ru