

Б.С. ГОЛЬДШТЕЙН
Н.А. СОКОЛОВ
Г.Г. ЯНОВСКИЙ



СЕТИ СВЯЗИ

Учебник для ВУЗов

Б. С. Гольдштейн, Н. А. Соколов, Г. Г. Яновский

СЕТИ СВЯЗИ

*Учебник для студентов, обучающихся по специальности
210406 – «Сети связи и системы коммутации» и по другим
междисциплинарным специальностям телекоммуникационного
направления базового высшего образования*

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2014

ГРНТИ 49.33.29
УДК 621.394/.395/.39688 (0-75)
ББК 32.883
О-75

О-75 Б.С. Гольдштейн, Н.А. Соколов, Г.Г. Яновский. Сети связи:
Учебник для ВУЗов. СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 401 с.,
илл.

ISBN 978-5-9775-2798-9

Книга является учебником по современным сетям связи. Она будет полезна студентам, бакалаврам и магистрам, а также аспирантам, исследования которых прямо или косвенно затрагивают разные аспекты построения, эксплуатации и развития телекоммуникационных сетей. Инженеры и менеджеры, работающие в области электросвязи, тоже найдут для себя полезные сведения. Процессу усвоения пройденного материала, несомненно, будут способствовать помещенные после каждой лекции ключевые слова, контрольные вопросы, задачи и упражнения, дополнительная литература.

В учебнике рассматриваются три сети, создававшиеся для поддержки следующих видов обслуживания: фиксированная телефонная связь, мобильные коммуникации и документальная электросвязь. Для каждой из трех сетей изложены идентичные по своему характеру базовые принципы построения и функционирования. Сформулирована основная цель дальнейшего развития трех рассматриваемых сетей – переход к сети связи следующего поколения, известной по аббревиатуре NGN (Next Generation Network).

ББК 32.883

Учебное издание

Рецензенты:

Кафедра АЭС МТУСИ,
зав. кафедрой, кандидат технических наук, профессор А.П. Пшеничников
Кафедра АЭС СибГУТИ,
зав. кафедрой, доктор технических наук, профессор В.В. Лебедев

Регистрационный номер МГУП рецензии ГОУ «Московский технический университет связи и информатики» _____

ISBN 978-5-9775-2798-9

© Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г., 2014

Издательство «БХВ-Петербург», 190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29.

Содержание

Предисловие	13
Лекция 0. Вводная	15
0.1. Преамбула	15
0.2. Теорема Котельникова	18
0.3. Стандартизация в области электросвязи.....	19
0.4. Конвергенция сетей связи.....	20
0.5. Об этой книге	22
Часть 1. Телефонная сеть общего пользования 25	
Лекция 1. Эволюция телефонных сетей.....	26
1.1. Базовые понятия	26
1.2. Краткий исторический экскурс	27
1.3. Основные термины.....	30
1.4. Единая сеть электросвязи Российской Федерации	36
1.5. Статистика телефонной сети.....	37
Ключевые слова	38
Контрольные вопросы	38
Задачи и упражнения	38
Литература к лекции 1	38
Лекция 2. Структура телефонной сети общего пользования	39
2.1. Уровни иерархии в ТфОП	39
2.2. Местные телефонные сети	41
2.2.1. Городские телефонные сети.....	41
2.2.2. Сельские телефонные сети	45
2.3. Зоновые телефонные сети	46
2.4. Междугородная и международная телефонные сети	48
Ключевые слова	52
Контрольные вопросы	52
Задачи и упражнения	52
Литература к лекции 2	52
Лекция 3. Сетевые технологии	53
3.1. История развития сетевых технологий в ТфОП	53
3.2. Технологии передачи информации	54
3.3. Синхронизация	56
3.4. Технологии коммутации каналов	57
3.5. Цифровизация городских телефонных сетей.....	58

3.6.	Цифровизация сельских телефонных сетей	65
	Ключевые слова	67
	Контрольные вопросы	67
	Задачи и упражнения	68
	Литература к лекции 3	68
Лекция 4. Системы сигнализации ТфОП		69
4.1.	Роль сигнализации в телефонной сети	69
4.2.	Эволюция систем сигнализации	70
4.3.	Общий канал сигнализации	75
4.4.	Сеть сигнализации	78
	Ключевые слова	80
	Контрольные вопросы	80
	Задачи и упражнения	80
	Литература к лекции 4	80
Лекция 5. Система и план нумерации		81
5.1.	Некоторые определения	81
5.2.	Действующий план нумерации ЕСЭ РФ	83
5.3.	Особенности нумерации в российской телефонной сети	87
5.4.	Перспективный план нумерации для ЕСЭ РФ	89
	Ключевые слова	91
	Контрольные вопросы	91
	Задачи и упражнения	92
	Литература к лекции 5	92
Лекция 6. Средства поддержки услуг		93
6.1.	Принципы интегрального обслуживания	93
6.2.	Концепция Интеллектуальной сети	97
6.3.	Средства компьютерной телефонии	99
	Ключевые слова	101
	Контрольные вопросы	101
	Задачи и упражнения	101
	Литература к лекции 6	101
Лекция 7. Услуги, поддерживаемые ТфОП		102
7.1.	Классификация услуг, предоставляемых ТфОП	102
7.2.	Дополнительные услуги в телефонии	105
7.3.	Особенности предоставления услуг в СТС	110
7.4.	Перспективы развития рынка услуг ТфОП	111
	Ключевые слова	112
	Контрольные вопросы	112
	Задачи и упражнения	112
	Литература к лекции 7	112

Лекция 8. Качество обслуживания в ТфОП	113
8.1. Основные понятия	113
8.2. Качество обслуживания вызовов	117
8.3. Качество телефонной связи	120
Ключевые слова	124
Контрольные вопросы	124
Задачи и упражнения	124
Литература к лекции 8	124
Лекция 9. Задачи анализа и проектирования ТфОП	125
9.1. Основные направления исследований в телефонии	125
9.2. Место установки коммутационной станции и ее емкость	128
9.3. Оценка необходимых транспортных ресурсов	130
9.4. Нормирование показателей качества обслуживания в ЧНН	132
Ключевые слова	135
Контрольные вопросы	136
Задачи и упражнения	136
Литература к лекции 9	136
Лекция 10. Перспективы развития ТфОП	137
10.1. Направления эволюции телефонии	137
10.2. Системные аспекты развития телефонной связи.....	139
10.3. Сетевые аспекты развития телефонной связи	140
10.4. Пример воздействия внешних факторов: переход к NGN	142
Ключевые слова	147
Контрольные вопросы	147
Задачи и упражнения	148
Литература к лекции 10	148
Часть 2. Сети подвижной связи.....	149
Лекция 11. Эволюция систем радиосвязи.....	150
11.1. Конвергенция сетей подвижной и фиксированной связи	150
11.2. Системы радиосвязи.....	151
11.2.1. Беспроводные телефонные системы.....	151
11.2.2. Пейджинговые системы	151
11.2.3. Транкинговые системы	151
11.2.4. Беспроводные компьютерные сети.....	152
11.2.5. Спутниковая связь	152
11.2.6. Системы сотовой связи	153
11.3. Краткий исторический экскурс	153
11.4. Основные понятия и термины.....	154
11.5. Способы доступа к СПС.....	158

11.6. Международные и национальные стандарты	159
11.6.1. Еще раз об ITU-T	159
11.6.2. Роль ETSI в мобильной связи	159
11.6.3. Проект партнерства 3-го поколения	160
11.6.4. Проект 2 партнерства 3-го поколения	161
11.6.5. Национальные стандарты	161
Ключевые слова	161
Контрольные вопросы	162
Задачи и упражнения	162
Литература к лекции 11	162

Лекция 12. Поколения сетей сотовой связи 163

12.1. Первое поколение 1G	163
12.2. NMT-450	165
12.3. Система AMPS	165
12.4. Система второго поколения D-AMPS	166
12.5. Стандарт CDMA	166
12.6. Системы 2,5G	168
12.7. Мобильная связь третьего поколения 3G	168
12.8. Мобильная связь четвертого поколения 4G	170
Ключевые слова	171
Контрольные вопросы	171
Задачи и упражнения	171
Литература к лекции 12	171

Лекция 13. Сетевая технология GSM 172

13.1. Введение в GSM	172
13.2. Структура сети GSM	175
13.3. SIM-карта	175
13.4. Подсистема базовой станции	176
13.5. Регистр HLR и центр аутентификации AuC	176
13.6. Гостевой регистр VLR	178
13.7. Центр коммутации MSC	179
13.8. Функция взаимодействия IWF	180
13.9. Регистр идентификации оборудования EIR	180
13.10. SMS-центр	181
Ключевые слова	182
Контрольные вопросы	182
Задачи и упражнения	182
Литература к лекции 13	182

Лекция 14. Системы сигнализации СПС.....	183
14.1. Мобильные приложения стека протоколов ОКС.....	183
14.2. Модель протокола MAP	184
14.3. Интерфейсы A, B, Abis	186
14.4. Обновление данных о местонахождении абонента с помощью MAP	188
14.5. Входящий вызов в СПС из ТФОП.....	191
14.6. Исходящий вызов из СПС в ТФОП	193
Ключевые слова	194
Контрольные вопросы	194
Задачи и упражнения	194
Литература к лекции 14	194
Лекция 15. Система нумерации СПС.....	195
15.1. Отличия нумерации для мобильной связи	195
15.2. Нумерация в GSM.....	196
15.2.1. Идентификатор IMSI	196
15.2.2. Идентификатор TMSI	198
15.2.3. Номер MSISDN.....	198
15.2.4. Номер MSRN.....	199
15.2.5. Идентификатор IMEI	199
15.3. План нумерации в сетях подвижной связи	200
15.4. Нумерация услуг СПС.....	202
15.5. Перспективы развития плана нумерации СПС	203
Ключевые слова	204
Контрольные вопросы	204
Задачи и упражнения	204
Литература к лекции 15	204
Лекция 16. Технологии и услуги сетей UMTS	205
16.1. Предпосылки перехода к 3G	205
16.2. Сети UMTS	207
16.3. Трафик в UMTS	208
16.4. Архитектура 3GPP релиз 99	209
16.5. Архитектура 3GPP релиз 4	211
16.6. Архитектура All-IP по 3GPP релиз 5	212
16.7. Развитие UMTS в Rel'6, Rel'7 и Rel'8	213
Ключевые слова	214
Контрольные вопросы	214
Задачи и упражнения	214
Литература к лекции 16	214

Лекция 17. Услуги, поддерживаемые СПС	215
17.1. Услуги сетей 3G	215
17.2. Услуги сетей 2.5G и технология EDGE.....	218
17.3. Пакетная сеть GPRS	219
17.4. Высокоскоростная передача данных HSCSD	221
17.5. Услуги WAP	222
17.6. Услуги SMS.....	222
17.7. Виртуальная домашняя среда VHE	223
17.8. CAMEL и протокол CAP	223
17.9. Услуга Push-to-talk.....	224
Ключевые слова	225
Контрольные вопросы	225
Задачи и упражнения	225
Литература к лекции 17	225
Лекция 18. Качество обслуживания в СПС.....	226
18.1. Основные понятия	226
18.2. Стандартизация качества обслуживания в СПС	227
18.3. Критерии качества обслуживания в СПС	229
18.4. Показатели качества обслуживания в СПС	229
18.5. Особенности СПС с точки зрения качества обслуживания	231
18.6. Инструментальные средства для оценки QoS.....	233
Ключевые слова	234
Контрольные вопросы	234
Задачи и упражнения	234
Литература к лекции 18	234
Лекция 19. Задачи расчета СПС	235
19.1. Особенности расчета сетей СПС	235
19.2. Повторное использование частот в СПС.....	236
19.3. Расчет емкости сети подвижной связи	239
19.4. Оценка пропускной способности транспортной сети в GPRS ..	240
Ключевые слова	243
Контрольные вопросы	243
Задачи и упражнения	244
Литература к лекции 19	244
Лекция 20. Перспективы развития СПС	245
20.1. Перспективы сетей подвижной связи	245
20.2. Эволюция технологий СПС	247
20.3. Технологии 4G	248
20.4. Концепция IMS	249
20.5. Архитектура IMS	251

20.6. Плоскость управления IMS	253
20.7. Плоскость приложений (услуг)	257
Ключевые слова	258
Контрольные вопросы	258
Задачи и упражнения	258
Литература к лекции 20	258

Часть 3. Сети документальной электросвязи .. 259

Лекция 21. Эволюция сетей передачи данных 260

21.1. Принципы коммутации пакетов	260
21.2. История создания компьютерных сетей	264
21.3. Модель взаимосвязи открытых систем	266
21.4. Стандартизация в сетях Интернет	269
Ключевые слова	270
Контрольные вопросы	270
Задачи и упражнения	270
Литература к лекции 21	270

Лекция 22. Сети на базе виртуальных соединений..... 271

22.1. Сети на базе протокола X.25.....	271
22.2. Сети на базе протокола Frame Relay	275
22.3. Сети ATM.....	277
22.3.1. Введение	277
22.3.2. Структура ячейки ATM.....	277
22.3.3. Эталонная модель протоколов ATM	279
22.3.4. Классы обслуживания на уровне AAL	280
22.3.5. Классы обслуживания в сети ATM и показатели качества обслуживания	281
Ключевые слова	283
Контрольные вопросы	283
Задачи и упражнения	284
Литература к лекции 22	284

Лекция 23. Сети на базе протоколов TCP/IP 285

23.1. Сети Интернет	285
23.2. Эталонная модель протоколов сети Интернет	286
23.3. Протоколы стека TCP/IP	287
23.4. Принципы организации сети Интернет	288
23.5. Структура заголовков IPv4 и IPv6	289
23.6. Структура заголовков TCP и UDP	294
Ключевые слова	297
Контрольные вопросы	297
Задачи и упражнения	207
Литература к лекции 23	297

Лекция 24. Системы сигнализации VoIP	298
24.1. Создание архитектуры SIP	298
24.2. Протокол SDP	299
24.3. Управления медиашлюзами	300
24.4. Протокол H.323.....	302
24.5. Сигнализация OKC7 поверх IP	303
24.5.1. Протокол управления потоками SCTP	304
24.5.2. Протоколы адаптации M2UA, M2PA и M3UA.....	304
24.5.3. Протоколы SUA и IUA	306
Ключевые слова.....	308
Контрольные вопросы	308
Задачи и упражнения.....	308
Литература к лекции 24	308
Лекция 25. Системы адресации и маршрутизации в СПД 309	309
25.1. Нумерация и адресация.....	309
25.2. Принципы адресации в сетях IP	310
25.3. Протоколы поддержки системы адресации	315
25.4. Принципы маршрутизации датаграмм в сетях IP	316
25.5. Протоколы маршрутизации	317
25.6. Концепция ENUM.....	320
Ключевые слова.....	321
Контрольные вопросы	321
Задачи и упражнения.....	322
Литература к лекции 25	322
Лекция 26. Технологии поддержки новых услуг	
в сетях Интернет	323
26.1. Услуги IP-коммуникаций	323
26.2. Технология VoIP	324
26.3. Основные функции, реализуемые в сети VoIP	325
26.4. Архитектура сети VoIP	327
26.5. Сервер обработки вызовов	327
26.6. Шлюз	328
26.7. Особенности применения сети IP для передачи речи	329
26.8. Протокол RTP	330
26.9. Определение и основные свойства IPTV	331
26.10. Архитектура IPTV	332
Ключевые слова.....	334
Контрольные вопросы	334
Задачи и упражнения.....	334
Литература к лекции 26	334

Лекция 27. Традиционные услуги в сетях Интернет.....	335
27.1. Введение.....	335
27.2. Протокол пересылки файлов FTP.....	336
27.3. Протокол пересылки гипертекстовых сообщений HTTP341 и Всемирная паутина.....	337
27.4. Протокол электронной почты SMTP.....	339
Ключевые слова.....	340
Контрольные вопросы.....	340
Задачи и упражнения.....	340
Литература к лекции 27.....	340
Лекция 28. Качество обслуживания в СПД.....	341
28.1. Основные проблемы качества обслуживания в сетях IP.....	341
28.2. Работы ИТУ-Т по стандартизации качества обслуживания в IP- сетях.....	343
28.2.1. Рекомендация ИТУ-Т Y.1540.....	343
28.2.2. Рекомендация ИТУ-Т Y.1541.....	345
28.3. Механизмы обеспечения QoS в IP-сетях.....	346
28.3.1. Механизмы QoS в плоскости управления.....	346
28.3.2. Механизмы QoS в плоскости данных.....	346
28.3.3. Механизмы QoS в плоскости менеджмента.....	348
28.4. Основные модели обеспечения качества обслуживания в сетях IP.....	349
28.4.1. Модель предоставления интегрированных услуг (IntServ).....	349
28.4.2. Модель предоставления дифференцированных услуг ...	350
28.4.3. Механизм многопротокольной коммутации по меткам (MPLS).....	352
28.5. Оценка качества обслуживания в системах VoIP.....	352
28.5.1. Субъективные и объективные оценки качества обслуживания.....	352
28.5.2. Анализ искажающих факторов, влияющих на качество передачи речи в пакетных сетях.....	353
Ключевые слова.....	357
Контрольные вопросы.....	357
Задачи и упражнения.....	358
Литература к лекции 28.....	358
Лекция 29. Задачи расчета СПД.....	359
29.1. Особенности расчета сетей передачи данных.....	359
29.2. Расчет длительности задержек в узле коммутации пакетов....	360
29.3. Расчет вероятности потерь в узле коммутации пакетов.....	363
29.4. Особенности анализа мультимедийного трафика в сетях IP ...	366
29.5. Распределения для различных приложений в сетях IP.....	367
29.6. Задержки и потери в системах массового обслуживания, описываемых медленно затухающими распределениями.....	368

Ключевые слова	370
Контрольные вопросы	370
Задачи и упражнения	370
Литература к лекции 29	370

Лекция 30. Перспективы развития СПД..... 371

30.1. Проблемы роста сетей передачи данных	371
30.2. Переход к протоколу IPv6.....	373
30.3. Взрыв трафика IP, рост пропускной способности магистральных сетей и скоростей доступа в Интернет	374
30.4. Проект Internet2 (сеть Интернет следующего поколения).....	377
30.5. Заключительные замечания о будущем сети Интернет	378
Ключевые слова.....	380
Контрольные вопросы	380
Задачи и упражнения.....	380
Литература к лекции 30	380

Лекция 31. Заключительная 381

31.1. Краткие итоги	381
31.2. Эволюция сетей доступа	382
31.3. Система эксплуатационно-технического управления	386
31.4. Глобальная информационная инфраструктура.....	388
31.5. Вместо послесловия.....	389
Литература к лекции 31	389

Дополнительная литература390

Список сокращений.....392

Предметный указатель.....396

Именной указатель.....399

Предисловие

Однажды Лебедь, Рак да Щука...
И. А. Крылов

После знакомства с рукописью «Сети связи» мне захотелось последовать примеру авторов и предварить предисловие эпиграфом. Возможно, читатели вспомнили завершение басни Ивана Андреевича Крылова: «Да только воз и ныне там», но будут не совсем правы. Выбор эпиграфа связан с тем, что каждый из авторов написал несколько книг – в одиночестве или совместно с другими коллегами. Эта книга – их первый совместный труд. Известно, что писать вместе не всегда просто. Иногда – очень непросто. Это утверждение и определило выбор эпиграфа.

Лекции по основным аспектам построения, проектирования и эксплуатации сетей связи в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций читают преподаватели двух кафедр – «Сетей связи» и «Систем коммутации и распределения информации». Заведующие этими кафедрами, профессора Г. Г. Яновский и Б. С. Гольдштейн, а также присоединившийся к ним профессор кафедры «Систем коммутации и распределения информации» Н. А. Соколов, взяли на себя нелегкий труд – написать книгу «Сети связи», которая будет полезна и как учебник.

Последний раз учебник подобного рода был опубликован более двадцати пяти лет назад. Понятно, что произошли радикальные изменения практически во всех элементах сетей связи. Более того, появились новые сети и телекоммуникационные технологии, о которых двадцать пять лет никто не помышлял. Не только новые идеи и современные технологии стимулировали авторов. Сформировались новые подходы к обучению, а также иные правила представления информации в учебниках. Эти изменения продиктованы мировыми интеграционными процессами, затронувшими и высшую школу. Учебник отвечает современным требованиям технического и методологического характера.

Интересен и продуктивен выбранный авторами подход к изложению схожих аспектов в сетях трех видов: фиксированной телефонной связи, мобильных коммуникаций и документальной электросвязи.

Актуален важный постулат излагаемых положений, касающийся сближения трех сетей связи. Сформулирован основной принцип такого объединения – переход к сети связи следующего поколения, известной по аббревиатуре NGN (Next Generation Network).

Авторам удалось логично, компактно и совсем не скучно изложить базовые положения телекоммуникационных технологий и сетевой архитектуры, включая самые современные. Причем сделано это достаточно просто и понятно. Поэтому книга будет одинаково полезна студентам, инженерам, менеджерам, людям, работающим в телекоммуникациях или желающим познакомиться с этой бурно развивающейся индустрией. Процессу усвоения пройденного материала, несомненно, будут способствовать помещенные после каждой лекции ключевые слова, контрольные вопросы, задачи и упражнения, дополнительная литература.

Внимательно прочитав эту книгу, я не мог не испытать гордости за то, что она родилась именно у нас – в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. Разумеется, учебник написан признанными в отрасли специалистами, профессорами, докторами наук, ее высокий уровень подтвердили рецензенты, тоже профессора и доктора наук. Но дело не только в этом. Чувствуется, что книга писалась увлеченно, в поисках, в дискуссиях и просто с удовольствием, чему, хочется верить, способствовала и атмосфера нашего общего с авторами Университета.

Теперь дело за студентами. Читайте, задавайте авторам вопросы (для этого ими и дан адрес сайта в Интернет), сами находите ответы в этой книге. Помните, что тот, кто знает, *как* работают современные телекоммуникационные сети, всегда найдет себе работу, а тот, кто знает, *почему* они так работают, будет у него начальником. Книга эта и для тех, и для других.

А. А. Гоголь,

ректор СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
заслуженный деятель науки,
доктор технических наук, профессор

Лекция 0

Вводная

*Чтобы что-то узнать, нужно уже что-то знать.
Станислав Лем*

0.1. Преамбула

Эта книга написана для студентов, изучающих курс «Сети связи». Она будет полезна аспирантам, исследования которых прямо или косвенно затрагивают разные аспекты построения, эксплуатации и развития телекоммуникационных сетей. Инженеры и менеджеры, работающие в области электросвязи, тоже найдут для себя полезные сведения.

Термин «Сеть связи» можно рассматривать с двух точек зрения. Во-первых, сеть связи, как самостоятельный объект, представляет собой комплекс технических средств, предназначенный для обмена информацией. Во-вторых, сеть связи – один из важных компонентов глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ). Последнее понятие введено Международным союзом электросвязи (МСЭ)¹ в конце XX века, когда были завершены основные работы по формированию новой парадигмы совместного развития информатики и электросвязи. ГИИ рассматривается как совокупность сетей связи, оборудования пользователей, информационных и людских ресурсов.

Задача ГИИ заключается в обеспечении доступа к полезной информации и связи между абонентами, а также в создании качественно новых условий для работы, обучения и развлечений. Функциональные возможности ГИИ должны – в перспективе – предоставляться независимо от времени и места, по приемлемым тарифам и во всемирном масштабе.

¹ В книге используется аббревиатура на английском языке – ITU (International Telecommunication Union).

Начнем с модели, предложенной ИТУ для анализа телекоммуникационной системы любого вида. Эта модель, представленная на рис. 0.1, содержит четыре компонента, изображенных в виде облаков.

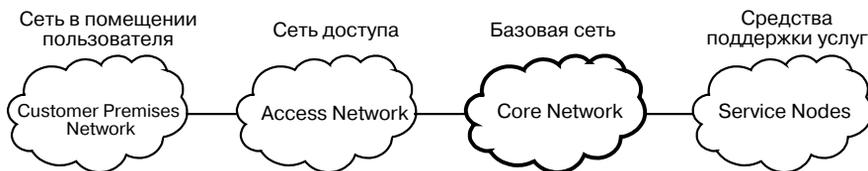


Рис. 0.1. Модель телекоммуникационной системы, предложенная ИТУ

Внутри каждого облака написано его общепринятое название на английском языке. Сверху приведен перевод, который обычно используется в отечественной технической литературе. Термин «сеть связи» относится к тем двум компонентам модели, которые входят в сферу ответственности Оператора связи.

В этой книге основное внимание акцентируется на облаке «Core Network» – базовой сети. Иногда эта сеть называется «транзитной», а в ряде ранних материалов ИТУ – «транспортной».

Согласно приведенному в качестве эпиграфа тезису, следует упомянуть о некоем минимуме миниморуме (*minimum minimorum*) знаний, без которого чтение книги будет малоэффективным. Во-первых, из школьной физики желательно помнить метрические приставки и их эквиваленты, сведенные здесь в табл. 0.1.

Таблица 0.1. Приставки, используемые в метрической системе мер

Приставка	Обозначение ²	Значение
Кило	<i>к / к</i>	10^3 (1000)
Мега	<i>М / М</i>	10^6 (1 000 000)
Гига	<i>Г / G</i>	10^9 (1 000 000 000)
Тера	<i>Т / T</i>	10^{12} (1 000 000 000 000)
Пета	<i>П / P</i>	10^{15} (1 000 000 000 000 000)
Экса	<i>Э / E</i>	10^{18} (1 000 000 000 000 000 000)
Зетта	<i>З / Z</i>	10^{21} (1 000 000 000 000 000 000 000)
Йотта	<i>Й / Y</i>	10^{24} (1 000 000 000 000 000 000 000 000)
Милли	<i>м / m</i>	10^{-3} (0,001)
Микро	<i>мк / μ</i>	10^{-6} (0,000·001)
Нано	<i>н / n</i>	10^{-9} (0,000·000·001)
Пико	<i>п / p</i>	10^{-12} (0,000·000·000·001)
Фемто	<i>ф / f</i>	10^{-15} (0,000·000·000·000·001)

² Указаны обозначения, принятые в отечественной и зарубежной литературе; они разделены знаком «/».

Для иллюстрации подобных значений приведем оценки информационных уровней цивилизации, основанные на количестве производимой информации. Эти оценки были предложены в [53]:

- *уровень 0* – информационная емкость мозга отдельного человека, составляющая 10 Мбит (10^7 битов);
- *уровень 1* – устное общение внутри общины деревни или племени, для которого объем циркулирующих сведений составляет порядка 1 Гбит (10^9 битов);
- *уровень 2* – письменная культура, примером которой может служить Александрийская библиотека с ее 532 800 свитками, в которых содержались 100 Гбит (10^{11} битов);
- *уровень 3* – книжная культура, включающая в себя также газеты и журналы, суммарный объем которой оценивается в 100 Пбит (10^{17} битов);
- *уровень 4* – информационное общество электронной обработки данных объемом 10^{25} битов, которому еще не присвоена общепринятая приставка (речь идет о величинах в десятки Йоттабитов согласно табл. 0.1).

Во-вторых, каждый из компонентов рассматриваемой модели состоит из некоей совокупности элементов, характерными примерами которых служат системы передачи и коммутации, а также линейно-кабельные сооружения. Следуя известным общесистемным принципам, эти элементы можно рассматривать как «черные ящики». Для полноценного восприятия материалов, изложенных в следующих тридцати лекциях, целесообразно знать основные принципы функционирования ряда «черных ящиков» – оборудования распределения информации и систем передачи, использующих разные среды распространения сигналов.

В-третьих, полезно знать базовые положения, определяющие важнейшие процессы передачи, обработки и распределения информации в современных сетях связи. От читателя, пожалуй, еще потребуются соответствие основным требованиям, которые приведены, например, в [30]:

- *общий уровень интеллекта* – умение понимать материал, способность воспринимать абстрактные принципы, умение рассуждать и оценивать;
- *владение словом* – способность понимать значения слов и эффективно пользоваться ими, выражать ясно свои мысли;
- *владение числом* – способность быстро и верно производить арифметические действия;
- *умение быстро читать*, способность воспринимать существенные детали в речи, в табличных материалах, печатных текстах.

Отметим, что соответствовать этим базовым требованиям совсем не просто. Нам, авторам, о таких читателях можно только мечтать.

К этим общим базовым знаниям и навыкам полезно прибавить теорему Котельникова и общие подходы к стандартизации сетей связи, чему посвящены следующие разделы этой лекции.

0.2. Теорема Котельникова

Многие операции, касающиеся обработки, передачи и распределения информации, заметно упрощаются, если электрический сигнал представлен в двоичной форме, то есть образует последовательность нулей и единиц. Принципы преобразования аналоговых функций в дискретные изучались, по крайней мере, с конца XIX века. Известны, в частности, работы математиков – англичанина Эдмунда Уиттекера и француза Эмиля Бореля, опубликованные в начале прошлого столетия.

В двадцатом столетии была доказана теорема, которой мы пользуемся в настоящее время. Доказательство теоремы было сделано независимо друг от друга шведским специалистом Гарри Найквистом, работавшим в знаменитой Лаборатории Белла, нашим соотечественником академиком Владимиром Александровичем Котельниковым и американским ученым Клодом Шенноном. В отечественной технической литературе чаще других используется название «Теорема Котельникова».

Суть теоремы Котельникова можно сформулировать следующим образом. Допустим, что аналоговый сигнал имеет спектр, ограниченный сверху частотой F_{max} . Такой сигнал может быть однозначно представлен дискретными отсчетами, которые взяты с периодом равным

$$\frac{1}{2 \times F_{MAX}}.$$

Отсчеты аналогового сигнала, взятые через промежутки времени, которые кратны периоду дискретизации, обычно округляются до ближайшей величины из множества фиксированных дискретных значений. Эта процедура называется квантованием. В сетях телефонной связи используется канал тональной частоты, для которого $F_{max}=3,4$ кГц. Для упрощения частота дискретизации принимается равной 2×4 кГц = 8 кГц. Иными словами, каждую секунду производит 8000 отсчетов аналогового сигнала.

В результате проведенных исследований было установлено, что для нормальной телефонной связи количество фиксированных дискретных значений сигнала можно ограничить числом 256. Для перехода от дискретного сигнала к цифровому каждый отсчет можно кодировать при помощи восьми элементов (битов). Это означает, что вместо аналогового сигнала может быть передана

последовательность дискретных сигналов со скоростью, равной произведению 8 кГц на 8 битов, то есть 64 кбит/с.

0.3. Стандартизация в области электросвязи

ITU – старейшая международная организация, занимающаяся разработкой рекомендаций, которые призваны обеспечить взаимодействие телекоммуникационных сетей разных стран. Формально эти рекомендации нельзя считать стандартами. Тем не менее, подавляющее большинство стран рассматривает рекомендации ITU именно как стандарты. Такая практика позволяет Операторам сетей электросвязи экономично обеспечивать взаимодействие телекоммуникационных систем, а производителям оборудования – продавать его на рынках других стран без существенной адаптации к национальным стандартам или стихийно принятым решениям.

В мае 1865 года в Париже была подписана конвенция о создании Международного Телеграфного Союза – International Telegraph Union. Россия была одной из стран, которые учредили эту межправительственную организацию. Конференция, состоявшаяся в 1932 году в Мадриде, решила объединить Международный Телеграфный Союз с аналогичной организацией, занимающейся вопросами радиосвязи. В результате появилось название ITU – International Telecommunication Union. Примечательно, что это преобразование не потребовало изменения аббревиатуры на английском языке – ITU. С 1947 года статус ITU изменился. Он стал специализированным учреждением Организации Объединенных Наций. Штаб-квартира ITU с 1948 года расположена в Женеве. В настоящее время (после ряда структурных изменений) основные рабочие органы ITU представлены тремя секторами:

- стандартизации электросвязи (ITU-T);
- радиосвязи (ITU-R);
- развития электросвязи (ITU-D).

В каждом из трех секторов образован ряд исследовательских комиссий, в которых ведется основная деятельность, связанная с разработкой рекомендаций и иных документов ITU. Следует отметить, что ITU работает в тесном контакте с рядом других международных, европейских, северо-американских и азиатских организаций, прямо или косвенно вовлеченных в работы, относящиеся к стандартизации в области связи.

С точки зрения вопросов развития телекоммуникационных сетей наибольший интерес представляют рекомендации сектора стандартизации электросвязи.

Перечень исследовательских комиссий сектора стандартизации электросвязи и названия серий рекомендаций, выпускаемых ИТУ, можно найти на сайте: <http://www.itu.int>. Там же размещены полезные документы, разработанные ИТУ.

В 1988 году был учрежден Европейский институт телекоммуникационных стандартов – ETSI. Его стандарты призваны обеспечить совместимость разных национальных систем электросвязи, что, в свою очередь, рассматривается как одно из условий эффективности интеграционных процессов в Европе.

Формально стандарты ETSI обязательны только для европейских стран. Ряд организаций, которые расположены за пределами Европы, стали членами ETSI. Этот факт обусловлен рядом причин, среди которых следует отметить эффективность работы ETSI и важный вклад Европы в развитие международных телекоммуникаций.

Основная работа ETSI в области стандартизации ведется техническими комитетами. Их перечень приведен на сайте: <http://www.etsi.org>. На этом же сайте можно найти подробную информацию, касающуюся организационных и технических аспектов работы ETSI.

ИТУ и ETSI по многим проблемам работают согласованно. Кроме того, они плодотворно сотрудничают с другими международными организациями. В частности, ИТУ и ETSI координируют свои работы с Международной организацией стандартизации (ISO), с Международной электротехнической комиссией (IEC), с организацией IETF (Internet Engineering Task Force), отвечающей за разработку стандартов для сети Интернет, а также с рядом консорциумов и форумов.

Принципы построения и эксплуатации отечественных телекоммуникационных сетей определяются Администрацией связи России. С весны 2008 года эти функции выполняет Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

0.4. Конвергенция сетей связи

Следует обратить внимание на тот уровень развития телекоммуникаций, который соответствует времени публикации этой книги. Обратимся к рис. 0.2. Он иллюстрирует три важные фазы эволюции сетей электросвязи, обеспечивающих интерактивные услуги, то есть возможность обмена информацией³.

К началу XXI века существовали три отдельных сети электросвязи. Их разделение обусловлено функциональными задачами, хотя эти сети иногда используют общие ресурсы (например, цифровые тракты, созданные в одном кабеле).

³ Сети звукового и телевизионного вещания, предназначенные для распределения информации, то есть для односторонней передачи ее от источника к получателям, в этой книге не рассматриваются.

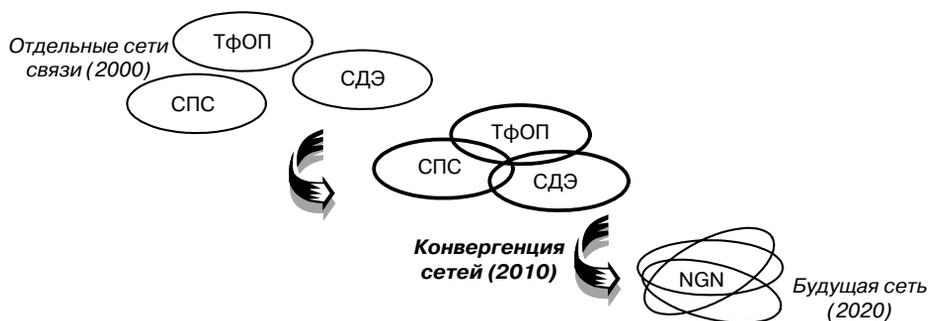


Рис. 0.2. Этапы эволюции сетей электросвязи

Тем не менее, телефонная сеть общего пользования (ТФОП), сеть подвижной связи (СПС) и сеть документальной электросвязи (СДЭ)⁴ – три разных объекта. Такова реальность мира телекоммуникаций начала XXI века. В книге каждой из этих трех сетей (ТФОП, СПС и СДЭ) посвящено по десять лекций.

В начале текущего столетия началось сближение трех отдельных сетей. Такой процесс называют *конвергенцией*. Определения, которые были предложены ИТУ для терминов «конвергентная сеть» и «конвергентные услуги», позволяют сделать вывод, что речь идет о процессах объединения (интеграции) сетей. Центральная часть рис. 0.2 отражает сегодняшнюю фазу конвергенции сетей за счет частичного (весьма небольшого) пересечения трех эллипсов, которые соответствуют ТФОП, СПС и СДЭ.

Результатом процесса конвергенции станет практически полное объединение сетей – правая часть рассматриваемого рис. 0.2. В итоге сформируется сеть следующего поколения (ССП), пока более известная по англоязычной аббревиатуре *NGN (Next Generation Network)*. В книге будет, в основном, использоваться сокращение *NGN*, привычное для большинства специалистов.

Процессу конвергенции в электросвязи свойственны очень интересные явления, которые служат современными примерами законов развития больших и сложных систем. В частности, по мере становления СДЭ связисты пытались с помощью разнообразных модемов, размещаемых отдельно или внутри телефонных аппаратов, факсимильных терминалов и персональных компьютеров, передавать дискретную информацию через ТФОП и (позже) СПС, созданные первоначально для передачи речи.

В конце XX века начался обратный процесс: переход к преобразованию речи в данные и их передача по цифровым сетям, изначально ориентированным на обмен дискретной информацией в форме пакетов.

⁴ Такое название сети определено образовательным стандартом. В технической литературе обычно используется термин «сети передачи данных».

Еще один переход – от информации одного вида (media) к *мультимедиа*. Речь идет о возможности обмена несколькими видами информации и о персональном управлении тем, что именно использует абонент для коммуникации, когда он это использует и в каком сочетании. В зависимости от ситуации и личных предпочтений абонент делает свой индивидуальный выбор из различных форм представления информации. Он может, например, услышать текст лекции в аудитории, прочитать его на экране, посмотреть о нем видеозапись или использовать некоторые комбинации этих возможностей.

0.5. Об этой книге

О том, *для кого* эта книга, было сказано в самом начале лекции.

О *чем* она, показано на первом рисунке (рис. 0.1). Находящееся в его центре и выделенное утолщенной линией облако *Core Network* составляет рассматриваемый в книге объект.

Центр следующего рисунка (рис. 0.2) показывает, в какой временной период следует читать эту книгу. Это отнюдь не означает, что после 2020 года в нее не будет нужды заглядывать. Есть все основания считать, что три сети: ТФОП, СПС и СДЭ просуществуют значительно дольше, как бы нам, связистам и абонентам, ни хотелось ускорить процесс их конвергенции.

Книга написана так, что ее можно читать как *вдоль* (лекции с нулевой по тридцать первую последовательно), так и *поперек*. Это высказывание заслуживает более подробного пояснения. Для чтения *вдоль* вся книга разделена на три части по десять лекций (глав) в каждой.

Первая часть (лекции 1 – 10) посвящена телефонным сетям общего пользования, вторые десять лекций (с 11 по 20) – сетям подвижной связи, а последняя, третья часть лекций (с 21 по 31) – сетям документальной электросвязи.

Книгу можно читать и *поперек*. В лекциях 1, 11 и 21 рассмотрены эволюция и основные понятия сетей ТФОП, СПС и СДЭ. Там же вводятся основные термины для соответствующих сетей, рассматриваются международные рекомендации и стандарты (ITU и ETSI в лекции 1, а в дополнение к ним – 3GPP в лекции 11 и IETF в лекции 21).

Сетевым аспектам ТФОП, СПС и СДЭ посвящены лекции 2, 12 и 22, а сетевые технологии рассмотрены в лекциях 3, 13 и 23. При этом лекция 2 посвящена архитектуре фиксированной телефонной сети, а лекция 12 – из второй части книги – охватывает разные поколения сетей подвижной связи 1G, 2G, 2,5G и 3G.

Лекция 13 целиком сосредоточена только на одной сетевой технологии – технологии GSM. В третьей части лекция 22 описывает виды сетевой архитектуры с виртуальными каналами, а лекция 23 целиком посвящена протоколам TCP/IP, определяющим архитектуру сети Интернет.

Протоколы сигнализации сетей связи последовательно описаны в лекциях 4, 14 и 24, а лекции 5, 15 и 25 посвящены нумерации и адресации – в ТФОП, СПС и СДЭ соответственно.

Тема лекций 6, 16 и 26 – технологии поддержки новых телекоммуникационных услуг. Для ТФОП – это рассматриваемые в лекции 6 технологии цифровой сети интегрального обслуживания, Интеллектуальной сети и компьютерной телефонии. Лекция 16 практически полностью посвящена средствам поддержки услуг СПС третьего поколения UMTS, а лекция 26 – поддержке передачи речи (VoIP) и телевидения (IPTV) по IP-сетям.

Сами же телекоммуникационные услуги рассматриваются в лекциях 7, 17 и 27, а проблемы оценки качества обслуживания (QoS) – в лекциях 8, 18 и 28. Аспекты исследования и расчета сетей связи рассматриваются в лекциях 9, 19 и 29, а завершающие каждую из трех частей лекции 10, 20 и 30 посвящены перспективам ТФОП, СПС и СДЭ. В последней лекции 31 упомянуто то, что не уместилось в предыдущих лекциях. В дополнение к этому «продольно-поперечному» подходу в книге есть еще некоторые особенности. Авторы вместе (да и каждый в отдельности) столько лет читают курсы лекций по сетям связи, что с учетом накопленного опыта позволили себе несколько отступить от традиций. В конце (а не в начале, как делается обычно) каждой лекции приводятся используемые ключевые слова. Они позволяют читателю еще раз осмыслить содержание и основные положения прочитанной лекции. После ключевых слов в конце каждой лекции (кроме этой) приводятся – тоже отмеченные специальными значками – контрольные вопросы, задачи и упражнения, а также перечень дополнительной литературы к каждой лекции.



Ключевые слова



Контрольные вопросы



Задачи и упражнения



Литература к лекции

Более подробный список использованных источников приведен в конце книги. Там же помещены именной и предметный указатели.

В дополнение к этому на сайте [http:// www.niits.ru](http://www.niits.ru) можно найти рекомендации и обсудить разные аспекты выполнения упражнений и решения задач, приведенных в конце лекций.

Часть 1

Телефонная сеть общего ПОЛЬЗОВАНИЯ

Лекция 1

Эволюция телефонных сетей

Ab initio.
(С самого начала)

1.1. Базовые понятия

Термин «телефония» давно используется в профессиональном лексиконе связистов. ИТУ-Т определяет телефонию как вид электросвязи, предназначенный, прежде всего, для обмена информацией в форме речи. Телефонная сеть устанавливает соединения, позволяющие передавать практически любую информацию в полосе пропускания канала тональной частоты (ТЧ). Эта полоса определена в диапазоне от 0,3 до 3,4 кГц.

ИТУ-Т предусматривает возможность использования так называемой широкополосной телефонии, когда речь передается в полосе пропускания, которая превышает диапазон канала ТЧ (например, от 0,1 до 7,0 кГц). Такая услуга предоставляется, в частности, цифровой сетью интегрального обслуживания ISDN (Integrated Services Digital Network), принципы построения которой рассматриваются в шестой лекции.

В первых десяти лекциях рассматривается ТФОП – телефонная сеть *общего пользования*. Последние два слова, выделенные курсивом, подчеркивают тот факт, что к сети может подключиться любой абонент, соблюдающий правила, которые оговариваются стандартным договором с Оператором (эксплуатационной компанией).

Такой принцип подключения к сети иногда называют *недискриминационным*. Существует ряд телефонных сетей, предназначен-

ных для обслуживания ограниченных групп пользователей. С технической точки зрения принципы создания и развития этих сетей и ТФОП очень схожи.

ТФОП стала первой сетью, которая обеспечила диалог (телефонный разговор) в реальном времени. По эффективности коммуникаций телефонный разговор уступает только дискуссии у «классной доски».

Другая важная особенность ТФОП заключается в том, что она приносит Оператору связи весьма существенные доходы. Пока их величина превышает доходы от всех остальных видов связи. Говоря о доходах ТФОП, подразумевают трафик речи, который создается терминалами фиксированной и мобильной связи. Аспекты создания сети, которая поддерживает функции мобильности терминала, рассматриваются в одиннадцатой лекции.

Понимал ли Александр Белл, какая судьба уготована его изобретению? До нас не дошли достоверные сведения о его гипотезах, касающихся возможных путей развития телефонной связи. Правда, задолго до изобретения телефона твердую уверенность в возможности общения людей, невзирая на большие расстояния, выразил Леонардо да Винчи¹. Пророчество гения сбылось в XX веке.

Базовые принципы создания ТФОП изложены в ряде монографий, опубликованных более двадцати пяти лет назад. В этой книге рассматриваются принципы построения ТФОП с учетом изменений, произошедших в последние десятилетия.

Во вводной лекции было отмечено, что основное внимание уделяется тому элементу телекоммуникационной системы, который назван «Базовой сетью» – Core Network в англоязычной технической литературе. Тем не менее, некоторые сведения, необходимые для изложения материала, содержат информацию о трех других элементах телекоммуникационной системы.

1.2. Краткий исторический экскурс

Дату, когда началось формирование ТФОП, установить не так просто. Известно, что в 1876 году Александр Грэхем Белл получил патент на изобретение электромагнитного телефона. Вскоре появились первые телефонные станции. Уже в 1878 году в городе Нью-Хейвен (США) открылась первая в мире телефонная станция. В России на ряде заводов Уфимской губернии телефонные станции для частного применения были установлены в 1880 году. Правда, совокупность подобных станций вряд ли можно рассматривать как сеть.

¹Люди будут разговаривать друг с другом из самых отдаленных стран и друг другу отвечать. (Леонардо да Винчи).

Первые в России городские телефонные станции общего пользования появились в 1882 году в Санкт-Петербурге, Москве и Одессе, а в 1885 году – в Киеве. Их можно считать элементами будущей ТФОП России. Началось формирование городских телефонных сетей (ГТС). Это означает, что были созданы важные компоненты ТФОП, но отсутствие возможности междугородной связи (и, тем более, международной) не позволяет говорить о рождении ТФОП.

31 декабря 1898 года состоялось официальное открытие междугородной линии телефонной связи между Санкт-Петербургом и Москвой – самой длинной в то время в Европе. Эту дату можно считать началом построения российской ТФОП. Постепенно всем абонентам ГТС стала доступна междугородная телефонная связь. Несколько позже такая возможность появилась у абонентов сельских телефонных сетей (СТС). Эти сети стали создаваться позже, чем были построены первые линии междугородной связи.

В качестве даты рождения международной связи чаще других упоминается 25 декабря 1900 года. В этот день было установлено первое соединение из города Ки Уэст (штат Флорида, США) в столицу Кубы. Расстояние между этими городами было меньше, чем длина линии между Санкт-Петербургом и Москвой, введенной в эксплуатацию на два года раньше. Формально в России первая международная линия начала свою работу в 1927 году между Москвой и Варшавой. Правда, связь столицы Российской империи с Гельсингфорсом (ныне столица Финляндии – Хельсинки) была введена в коммерческую эксплуатацию еще в мае 1917 года.

За время более чем столетнего существования ТФОП произошли радикальные изменения в технике телефонной связи, заметно увеличилось количество обслуживаемых абонентов, началось использование ресурсов сети для предоставления обслуживания других видов (например, для передачи факсимильных сообщений и обмена данными). Коммутационную станцию любого типа, как и большинство сложных систем, можно представить в виде двух взаимосвязанных блоков: управляющего и управляемого устройств. История развития устройств этих двух видов очень интересна.

Первые коммутационные станции предусматривали ручное управление установлением и завершением соединений. В этих станциях функции управления выполнял оператор. Он принимал на слух информацию о номере или ином идентификационном признаке вызываемого абонента и определял совокупность операций, позволяющих оптимально обслужить вызов. Логические функции выполнял человеческий мозг – самое совершенное устройство управления с точки зрения интеллектуальных возможностей. Не случайно в ряде самых современных систем телефонной связи все еще сохраняется ручное обслуживание.

По мере развития ТфОП проявился ряд отрицательных свойств ручного способа установления соединений. Переход к автоматизации ТфОП был обусловлен, по крайней мере, двумя факторами. Во-первых, к работе на телефонных коммутаторах пришлось бы привлечь слишком много людей. Во-вторых, человек не может совершать операции так же быстро, как автоматическое устройство. Иными словами, скорость установления соединения перестала удовлетворять требованиям абонентов ТфОП.

Совершенствование устройств управления было тесно связано с появлением новых поколений автоматических телефонных станций (АТС) электромеханического типа. Для каждого такого поколения (машинные, декадно-шаговые и координатные АТС) были разработаны свои устройства управления. Идея применения программного управления родилась в тот период времени, когда дальнейшее совершенствование координатных АТС оказалось нецелесообразным.

Практически в это же самое время основные этапы развития управляющих и управляемых устройств перестали совпадать. Устройства управления, следуя логике развития вычислительной техники, прошли путь, который можно представить такой последовательностью: централизованные, децентрализованные и распределенные.

Классифицировать управляемые устройства лучше всего по способу построения коммутационного поля. Первым широко используемым коммутационным полем, по всей видимости, стала доска Гилеланда. Она обеспечивала однопроводную коммутацию. Для декадно-шаговых АТС были разработаны искатели. Они делились на два типа: шаговые и декадно-шаговые. В этих искателях управляющее и управляемое устройства были объединены в единый прибор.

Следующее поколение АТС – координатные станции строилось на соединителях. Каждый координатный соединитель можно рассматривать как матрицу с m входами и n выходами.

В координатных АТС управляющие (регистры и маркеры) и управляемые (соединители) устройства были конструктивно отделены друг от друга. Идея построения управляемого устройства на матричных принципах была использована и в следующем поколении АТС – квазиэлектронных станциях. Каждый коммутационный элемент подобного устройства (геркон или гезакон) представлял собой миниатюрный стеклянный баллон, внутри которого были помещены контактные пружины. Такое решение существенно улучшило качество цепи, образованной при замыкании контактов геркона или гезакона.

Цифровая техника, реализованная ранее в системах передачи, привлекла внимание специалистов в области коммутации. Последний этап развития технологии коммутации каналов связан исключительно с цифровыми АТС. Теоретической базой для цифровых методов передачи и коммутации стала рассмотренная в предыдущей лекции теорема Котельникова.

Цифровизация ТфОП стала важной вехой в развитии всей системы электросвязи. Она позволила решить многие эксплуатационные проблемы, а также ввести ряд новых услуг, в которых были заинтересованы абоненты ТфОП.

Сначала коммутационные станции местных телефонных сетей связывались между собой физическими цепями, организуемыми в воздушных или кабельных линиях связи. Затем появились аналоговые системы передачи.

Тогда стандартными транспортными ресурсами для электромеханических АТС стали каналы ТЧ. Они работали по физическим цепям, радиорелейным линиям и системам спутниковой связи.

Переход к цифровым системам передачи и коммутации стимулировал разработку нового стандарта для канала связи. Им стал основной цифровой канал (ОЦК) со скоростью передачи 64 кбит/с. Для телефонной связи он может считаться эквивалентом канала ТЧ. Помимо ОЦК важным для ТфОП стандартом стал цифровой тракт со скоростью передачи 2048 кбит/с. Он хорошо известен по обозначению Е1. Характеристики тракта Е1 определяют параметры интерфейса цифровой АТС для взаимодействия с другими коммутационными станциями.

Цифровые системы передачи прошли два этапа развития. Сначала появились системы передачи плезиохронной иерархии. Их сменили системы передачи синхронной иерархии. Эти системы предназначены для работы по кабелю с оптическими волокнами (ОВ) или по мощным радиорелейным линиям.

Задача организации цифровых каналов для связи коммутационных станций входит в перечень функций транспортной сети. В ряде публикаций эта сеть называется первичной.

1.3. Основные термины

Большинство объяснений рассматриваемых ниже терминов базируется на трех источниках:

- словарь основных терминов и определений из руководящих документов по построению российской телекоммуникационной системы;
- рекомендации ITU и стандарты ETSI;

- отечественная и зарубежная научно-техническая литература, прямо или косвенно связанная с терминологическими вопросами.

Для введения базовых терминов целесообразно рассмотреть модель российской ТфОП, представленную на рис. 1.1. В ее состав входит ГТС, структура которой типична для крупных городов, и СТС.

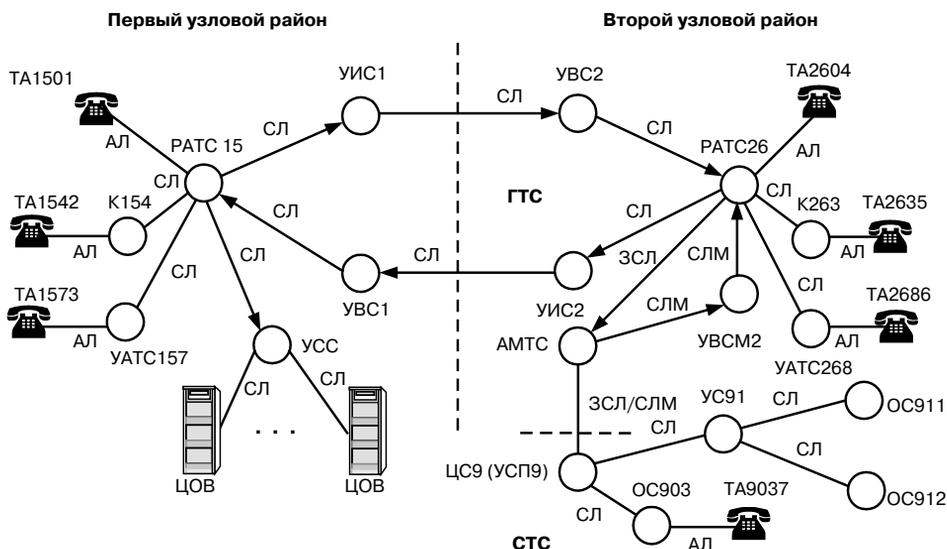


Рис. 1.1. Модель российской ТфОП

Модель ГТС состоит из двух узловых районов. Номер узлового района указан в качестве первой цифры всех установленных коммутационных станций и подключаемых к ним телефонных аппаратов (ТА).

В состав каждого узлового района входят узлы исходящего (УИС) и входящего (УВС) сообщения. Если коммутационное оборудование используется в качестве УИС и УВС, то оно называется узлом исходящего и входящего сообщения (УИВС).

В левой части модели показана всего одна районная АТС (ПАТС). Ей присвоен двухзначный номер «15». Первая цифра идентифицирует номер узлового района, а вторая – порядковый номер коммутационной станции в этом районе.

Терминалы абонентов подключены к пятой ПАТС первого узлового района тремя способами. Первый из терминалов (ТА1501) соединяется с ПАТС индивидуальной абонентской линией (АЛ). Цифра «0» в третьей позиции означает отсутствие промежуточных устройств коммутации между терминалом и ПАТС.

Второй терминал (ТА1542) включен в четвертый концентратор (К). Он связан с РАТС15 пучком соединительных линий (СЛ). В том случае, когда соединение по СЛ устанавливается только в одну сторону, соответствующая линия на всех рисунках снабжается стрелкой. Третий терминал (ТА1573) включен в учрежденческую АТС (УАТС), которой присвоен седьмой номер среди аналогичных устройств коммутации, расположенных в зоне обслуживания РАТС15.

Для РАТС15 показаны также два варианта выхода к узлу специальных служб (УСС). Он обеспечивает подключение к экстренным и информационно-справочным службам, которые организованы в городе. УСС анализирует номер, набранный абонентом, и устанавливает соединение с соответствующим центром обслуживания вызовов (ЦОВ).

Для второго узлового района показаны принципы связи РАТС26 с автоматической междугородной телефонной станцией (АМТС). Исходящее междугородное соединение устанавливается по пучку заказно-соединительных линий (ЗСЛ). Для входящей связи от АМТС создается узел входящего междугородного сообщения (УВСМ). Он связан с АМТС и РАТС пучком соединительных линий междугородной связи (СЛМ). Чтобы не усложнять модель ТфОП на рис. 1.1 не показаны ЗСЛ и СЛМ для РАТС15, а также СЛ между УСС и РАТС26.

Правый нижний фрагмент иллюстрирует общие принципы построения СТС. В каждом сельском административном районе устанавливается центральная станция (ЦС) или узел сельско-пригородной связи (УСП). Их различие заключается в том, что на ЦС возложены также функции РАТС районного центра.

Для девятой ЦС показаны принципы включения оконечных станций (ОС). Различают радиальную и радиально-узловую схему построения СТС. В частности, третья ОС включена по радиальной схеме. Цифра «0» во второй позиции ее номера указывает на отсутствие узловой станции (УС) между ЦС и ОС. Первая и вторая ОС включены по радиально-узловой схеме. Они связаны с УС, которая обеспечивает установление соединений между абонентами разных ОС, а также выход к ЦС.

Приведенные термины и их аббревиатуры содержатся в словарях, которые входят в состав ряда руководящих документов по построению российской телекоммуникационной системы. Эти документы не пересматривались в течение десяти и более лет. Кроме того, в процессе их составления не в полной мере учитывался зарубежный опыт разработки современной терминологии.

Цифровизация ТфОП потребовала пересмотра ряда принципов построения ГТС и СТС. При разработке этих принципов был введен ряд новых терминов. Они стали широко применяться в отечествен-

ной технической литературе, посвященной, в первую очередь, вопросам построения цифровых ГТС. Вместо аббревиатуры РАТС чаще стало встречаться сокращение ОПС – опорная станция. Был предложен термин «Транзитная станция» (ТС), уже устоявшийся в англоязычной технической литературе. Цифровое коммутационное оборудование позволяет строить комбинированные станции, то есть ТС и ОПС. Они получили название «Опорно-транзитные станции» (ОПТС). Сближение терминов, используемых в отечественной и в зарубежной литературе, позволяет решить ряд серьезных проблем, обеспечить лучшее взаимопонимание между специалистами.

В трех столбцах табл. 1.1 приведены основные аббревиатуры, часто используемые в технической литературе по телефонии. В последнем столбце содержатся примеры терминов, которые можно рекомендовать для дальнейшего применения российскими специалистами.

Таблица 1.1. Примеры унификации терминов, используемых в телефонии

Российская ТфОП		Зарубежная ТфОП	Унифицированный термин для российской ТфОП
Аналоговая	Цифровая		
Подстанция (ПС)	К	С	Концентратор (К)
РАТС, ОС	ОПС	СО, LE	Местная станция (МС)
УИС, УВС, УИВС, УС	ТС, ОПТС	ТЕ	Транзитная станция (ТС)
СЛ, ЗСЛ, СЛМ	СЛ, ЗСЛ, СЛМ	trunk	Соединительная линия (СЛ)

Модель, представленная на рис. 1.2, иллюстрирует принципы использования ресурсов единой транспортной (первичной) сети для организации телефонной связи и арендованных каналов. Это означает, что транспортные ресурсы предназначены для двух функционально различных коммутируемых сетей. Иногда коммутируемые сети называют вторичными.

Рис. 1.2 состоит из двух фрагментов. Левый фрагмент иллюстрирует принципы построения гипотетической ГТС, состоящей из пяти РАТС. Правый фрагмент показывает идею построения сети арендованных каналов, образуемой четырьмя узлами. Нижние части левого и правого фрагментов идентичны, так как отображают общую транспортную сеть, которая состоит из элементов двух основных типов – сетевых узлов (СУ) и объединяющих их линий передачи.

Исторически сложилось так, что оборудование СУ располагается в тех же зданиях, где устанавливается коммутационное оборудование ТфОП. По этой причине число СУ в рассматриваемой модели равно количеству РАТС. Пунктирными линиями для СУ2 показаны элементы двух коммутируемых сетей, которые располагаются в одном и том же помещении.

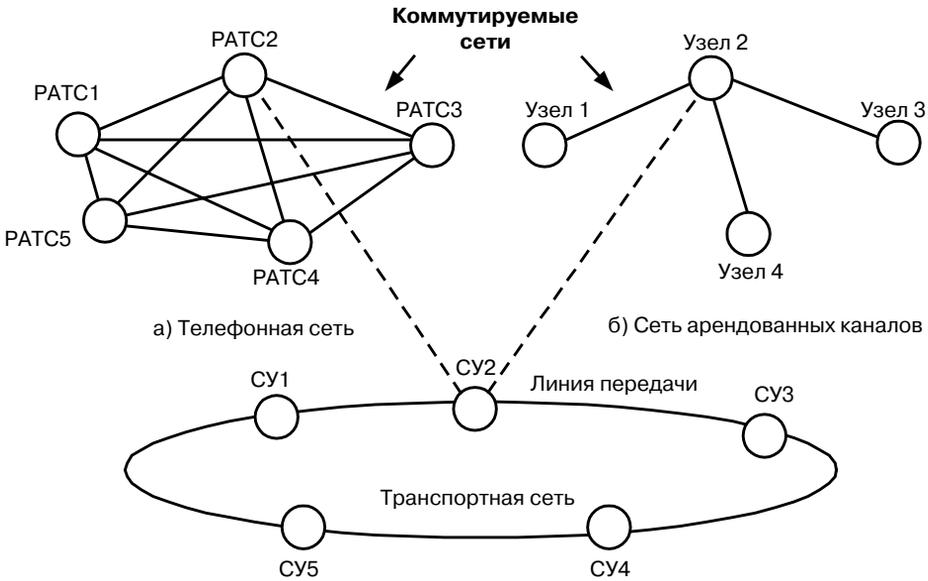


Рис. 1.2. Транспортная и коммутируемые сети

На рис. 1.2 показана кольцевая структура транспортной сети, чаще других реализуемая Операторами ТФОП. Аппаратно-программные средства современных СУ способны формировать коммутируемые сети любой структуры за счет установления полупостоянных соединений. Левый фрагмент рис. 1.2 показывает структуру ГТС, в которой все ПАТС связаны между собой по принципу «каждая с каждой». Гипотетическая сеть арендованных каналов – правый фрагмент модели – содержит четыре узла, образующих структуру типа «звезда».

Модели, изображенные на рис. 1.1 и 1.2, и табл. 1.1 позволяют ввести ряд определений, касающихся основных терминов, которые используются в современной телефонии.

Перечень терминов составлен по такой схеме. Сначала приводится термин на русском языке. В скобках указывается соответствующий термин на английском языке, если, конечно, таковой имеется. Далее предлагается определение термина, которое, при необходимости, сопровождается примечанием, что позволяет уточнить некоторые детали.

Сетевой узел (Network Node) – комплекс технических средств, обеспечивающий формирование и полупостоянную коммутацию каналов и трактов передачи, которые используются коммутируемыми сетями электросвязи.

Линия передачи (Transmission Line) – совокупность стандартных каналов и/или трактов передачи, соединяющих сетевые узлы между собой.

Транспортная сеть (Transport Network) – совокупность СУ и линий передачи, обеспечивающая коммутируемые сети каналами и/или трактами для обмена информацией.

Коммутационная станция (Switching Exchange) – совокупность аппаратно-программных средств, обеспечивающих установление соединений между терминалами пользователей.

Местная станция (Local Exchange) – коммутационная станция, обеспечивающая подключение к сети абонентских терминалов.

Транзитная станция (Transit Exchange) – коммутационная станция, предназначенная для установления соединений между другими станциями.

Комбинированная станция (Combined Local/Transit Exchange) – коммутационная станция, выполняющая функции как местной, так и транзитной станций.

Коммутируемая сеть (Switched Network) – определенная совокупность коммутационных станций и каналов связи (часть ресурсов транспортной сети), которые предназначены для обмена информацией одного или более видов. Коммутируемые сети могут быть классифицированы по основному виду передаваемой информации (телефонная, передачи данных и другие) или по способу ее распределения (коммутация каналов или пакетов).

Телефонная сеть (Telephone Network) – коммутируемая сеть, которая предназначена, в основном, для установления соединений между телефонными аппаратами абонентов.

Цифровая сеть интегрального обслуживания (Integrated Services Digital Network) – сеть интегрального обслуживания, которая обеспечивает цифровые соединения через интерфейсы пользователь-сеть (UN) и сеть-сеть (NN).

Коммутация (Switching) – процесс организации соединения между двумя (или более) терминалами или между терминалом и рабочим местом центра обслуживания вызовов.

Коммутация каналов (Circuit Switching) – принцип организации связи между терминалами, основанный на том, что ресурс, необходимый для обмена информацией в обоих направлениях, закрепляется за установленным соединением на все время сеанса связи. Ресурс остается в безраздельном распоряжении пользователей вне зависимости от того, передают ли они информацию или «молчат».

Абонент (Subscriber) – физическое или юридическое лицо, которому предоставлена возможность использования услуг электросвязи. В последнее время чаще используется термин «Пользователь» – перевод английского слова «User».

Оператор (Operator) – эксплуатационная компания, заключающая договор с абонентами на предоставление телекоммуникационных услуг. Оператор может сам создавать сети электросвязи или арендовать ресурсы, необходимые для поддержки телекоммуникационных услуг.

Ряд терминов, менее общего характера, будет, при необходимости, вводиться в этой и в других лекциях. Вышеперечисленные термины будут конкретизироваться при изложении принципов построения ТфОП.

1.4. Единая сеть электросвязи Российской Федерации

Федеральным законом «О связи» предусмотрено наличие в составе Единой сети электросвязи Российской Федерации (ЕСЭ РФ) сетей четырех видов:

- сеть связи общего пользования (ССОП);
- выделенные сети связи;
- технологические сети связи, присоединенные к сети связи общего пользования;
- сети связи специального назначения и другие сети связи для передачи информации при помощи электромагнитных систем.

Далее будет рассматриваться только ССОП. Тем не менее, изложенные соображения технического характера (но не организационного) во многом справедливы и для сетей трех других видов, входящих в ЕСЭ РФ.

В этой и в следующих лекциях книги основное внимание уделяется ТфОП – основному компоненту сети связи общего пользования. Услугами сети связи общего пользования может воспользоваться любой абонент, находящийся на территории Российской Федерации. Естественно, он обязан соблюдать все условия, определяемые Оператором сети связи общего пользования.

Если абонент отправляет телеграмму, то эти условия подразумевают составление текста с соблюдением этических норм и отсутствие сведений, передача которых запрещена российскими законами, а также своевременную оплату предоставленной услуги.

Для подключения к ТфОП абонент заключает с Оператором договор, где оговариваются как условия оплаты, так и все те требования, которые должны соблюдать обе стороны.

1.5. Статистика телефонной связи

Уровень развития ТфОП в значительной мере определяется географическими, демографическими и экономическими показателями страны. Поэтому, прежде всего, следует рассмотреть соответствующие статистические данные. Они публикуются, например, на сайтах Администрации связи России (<http://www.minsvyaz.ru>) и Федеральной службы государственной статистики (<http://www.gks.ru>).

Основными показателями развития ТфОП считаются ее емкость и телефонная плотность. К началу 2008 года количество основных телефонных аппаратов (ОТА) превысило уровень 45 млн. Более 75% ОТА установлено в так называемом квартирном секторе.

Телефонная плотность составляет примерно 31,8 терминалов на 100 жителей. Примерно 88% емкости ТфОП установлено в российских городах.

Доля городского населения в России составляет порядка 75%. Это означает, что существует диспропорция (она наблюдается практически во всех странах) в развитии ГТС и СТС.

Существует также различие в уровне цифровизации ТфОП. Уровень цифровизации значительно выше в ГТС. Телефонной плотности также свойственна неравномерность. Например, в Москве и в Санкт-Петербурге она заметно превышает среднестатистический уровень для России в целом.



Ключевые слова: автоматическая телефонная станция, абонентская линия, соединительная линия, транспортная сеть, коммутируемая сеть, телефонная сеть общего пользования, единая сеть электросвязи Российской Федерации.



Контрольные вопросы

1. Сети каких видов входят в состав ЕСЭ РФ?
2. К какому виду сетей относится ТфОП?
3. Какова ширина полосы пропускания канала тональной частоты?

4. С какой скоростью происходит передача информации по основному цифровому каналу?
5. Идентично ли количество транзитных станций между РАТС и АМТС при установлении исходящих и входящих соединений?
6. В чем заключается смысл деления системы связи на транспортную и коммутируемую сети?
7. Каков процент основных телефонных аппаратов, включенных в городские телефонные сети?



Задачи и упражнения

1. Телефонная плотность иногда измеряется в количестве основных телефонных аппаратов на 100 домохозяйств. Проанализируйте преимущества и недостатки такой оценки по сравнению с мерой, вычисляемой как количество основных телефонных аппаратов на 100 жителей.



Литература к лекции 1

- 1.1. Давыдов Г.Б., Рогинский В.Н., Толчан А.Я. Сети электросвязи. – М.: Связь, 1977.
- 1.2. Беллами Дж. Цифровая телефония: Пер. с англ. / Под ред. А.Н. Берлина, Ю.Н. Чернышева. – М.: Эко-Трендз, 2004.

Лекция 2

Структура телефонной сети общего пользования

Ea maxime conducunt, quae sunt rectissima.
(Наиболее полезно то, что наиболее справедливо)

2.1. Уровни иерархии в ТФОП

В любой крупной сети принято выделять иерархические уровни. Этот процесс можно рассматривать как классификацию по определенному признаку (таксону). На фронтальной грани куба, изображенного на рис. 2.1, перечислены основные уровни иерархии ТФОП. На боковой грани куба показаны два компонента (коммутируемая и транспортная сети), которые с точки зрения решаемых ими функциональных задач имеются на всех иерархических уровнях ТФОП. Верхняя грань, при необходимости, может быть использована для введения дополнительной классификации по каким-либо другим признакам.

В качестве нижнего уровня иерархии показана сеть в помещении пользователя. Вообще говоря, ее создание и поддержка не входят в компетенцию Оператора ТФОП. Такой подход можно считать оправданным в тех случаях, когда то, что названо «сетью в помещении пользователя», представляет собой телефонный аппарат или терминал любой сложности в совокупности с абонентской проводкой.

Многие современные предприятия используют УАТС, локальные вычислительные сети (ЛВС) и телекоммуникационные системы

поддержки бизнес-процессов. В подобных случаях компонент «сеть в помещении пользователя» целесообразно включать в состав уровней иерархии ТФОП.

Следующий иерархический уровень – сеть доступа. Ее анализ не входит в перечень вопросов, рассматриваемых в этой книге. Поэтому достаточно упомянуть, что сеть доступа служит «связующим звеном» между двумя иерархическими уровнями. Ее задача состоит в организации связи между оборудованием пользователя и базовой сетью.

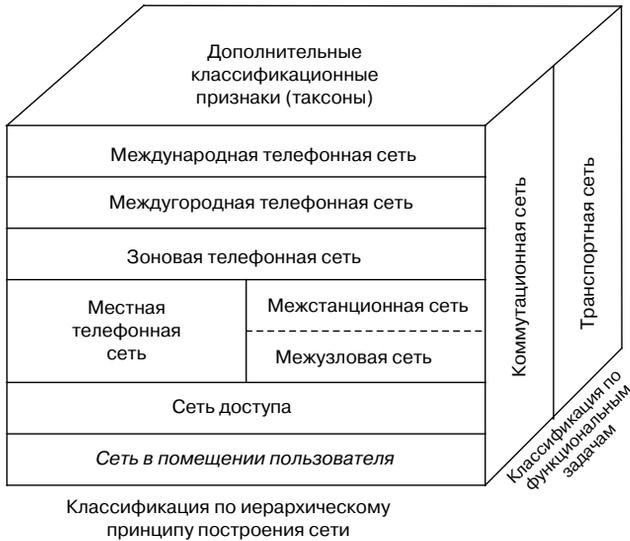


Рис. 2.1. Иерархические уровни в ТФОП

Базовая сеть на рис. 2.1 разделена на четыре иерархических уровня. Нижний из этих уровней соответствует местной (городской или сельской) телефонной сети. ГТС создается в границах города, а СТС – на территории сельского административного района. В ряде ГТС и СТС, в свою очередь, можно выделить два уровня иерархии. На рис. 2.1 они обозначены как сети межстанционной и межузловой связи. Принципы их построения изложены в следующем разделе этой лекции.

Зоновая телефонная сеть обычно создается в границах субъекта Федерации. Есть ряд исключений, когда на территории одного субъекта Федерации создается несколько зональных сетей.

Соответствующие примеры будут приведены в лекции, посвященной нумерации в ТФОП. Отличительный признак зональной телефонной сети – присвоение ей уникального кода для входящей междугородной связи, обозначаемого буквами *ABC*.

Типичная зональная сеть состоит из нескольких местных сетей – ГТС и СТС. Между собой местные сети связаны каналами внутризональной связи. Эти каналы коммутируются в АМТС или в зональном телефонном узле (ЗТУ). Принципы организации зональной связи также рассматриваются в настоящей лекции.

На следующем уровне иерархии ТфОП расположена междугородная телефонная сеть. Она обеспечивает связь между зональными телефонными сетями. Кроме того, в задачи междугородной телефонной сети входит обеспечение доступа к международным центрам коммутации (МЦК). Эти центры представляют собой элементы верхнего уровня иерархии ТфОП – международной телефонной сети. Принципам построения сетей междугородной и международной телефонной связи посвящена последняя часть этой лекции.

2.2. Местные телефонные сети

2.2.1. Городские телефонные сети

В конце XIX и в начале XX века все ГТС создавались за счет установки всего одной телефонной станции. Рост ряда сетей привел к необходимости установки второй, третьей и последующих телефонных станций. Тем не менее, в небольших городах часто функционирует одна АТС – рис. 2.2.

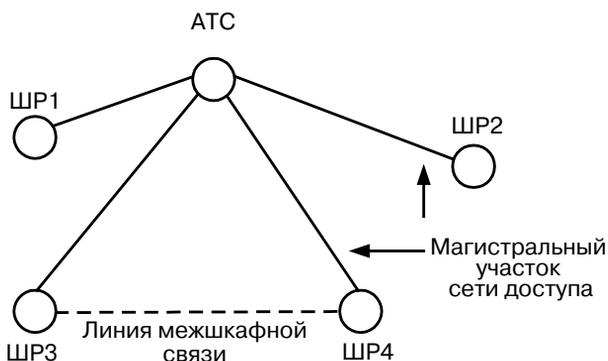


Рис. 2.2. Существующая нерайонированная городская телефонная сеть

Подобные сети называют нерайонированными. При использовании декадно-шаговых и координатных АТС такой способ построения ГТС считался рациональным, если максимальное количество обслуживаемых абонентов не превышало 8000. Применение цифровых коммутационных станций позволяет экономично строить нерайонированные ГТС емкостью в несколько десятков тысяч номеров. В этом случае в составе ГТС используются выносные

модули АТС – концентраторы. Нерайонированная ГТС состоит из коммутационной станции и сети доступа. На рис. 2.2 показаны четыре распределительных шкафа (ШР). Между каждым шкафом и АТС проложены магистральные кабели. Обычно применяются многопарные абонентские кабели. Этот фрагмент сети доступа называется магистральным участком. Обычно на магистральном участке сети доступа формируется звездообразная топология. В некоторых случаях используются линии межшкафной связи. На рис. 2.2 такая линия показана между третьим и четвертым шкафами. Наличие линий межшкафной связи позволит в перспективе перейти к кольцевой структуре сети доступа. Такая топология обеспечивает высокую надежность связи концентраторов с АТС.

На рис. 2.3 изображены две структуры перспективной нерайонированной ГТС, в которой установлена цифровая АТС. Здесь и далее кружки, соответствующие цифровым АТС, будут окрашены темным цветом. Фрагмент (а) иллюстрирует принципы построения транспортной сети, которая представлена в виде совокупности трех колец. Нулевой СУ располагается в здании АТС. Номера всех остальных СУ совпадают с номерами тех концентраторов, для которых они формируют транспортные ресурсы в виде стандартных цифровых трактов. Выбор числа СУ и мест их размещения – одна из классических задач проектирования телекоммуникационных сетей.

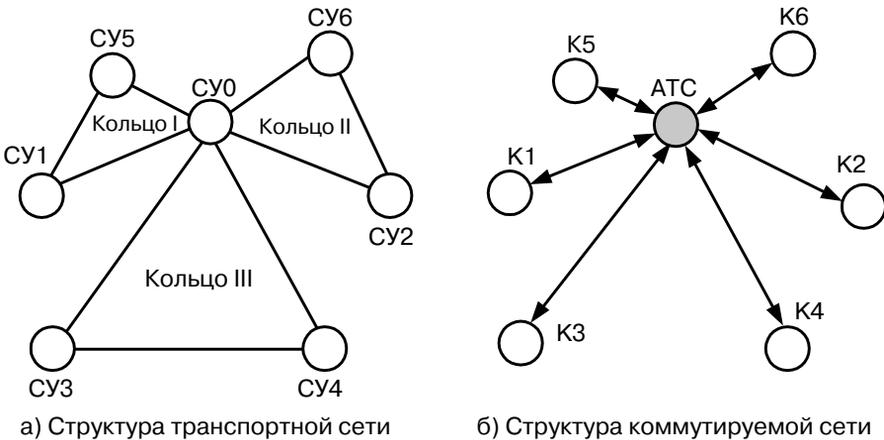


Рис. 2.3. Перспективная нерайонированная городская телефонная сеть

Структура коммутируемой сети показана в правой части рис. 2.3 – фрагмент (б). Она представляет собой топологию типа «звезда». Очевидно, что между АТС и каждым концентратором благодаря кольцевой структуре транспортной сети существуют два независимых (с точки зрения надежности) пути обмена информацией.

Построение ГТС с применением выносных концентраторов имеет ряд преимуществ, среди которых следует назвать сокращение средней длины АЛ (что, в свою очередь, уменьшает затраты на построение сети доступа и упрощает введение ряда новых услуг) и снижение затрат на обновление версий программного обеспечения цифровой АТС. Использование одной коммутационной станции в городах со средней и большой площадью привело к заметному росту средней длины АЛ. Например, для города, форма которого предстает квадрата, справедливо следующее соотношение между средней длиной АЛ l и площадью пристанционного участка S :

$$l \approx 0,388\sqrt{S}. \quad (2.1)$$

Очевидно, что для крупных городов, территория которых измеряется сотнями квадратных километров, длина АЛ становится такой, что из-за большого остаточного затухания и сопротивления шлейфа ее использование становится принципиально невозможным. Разумный выход из такого положения – установка нескольких АТС. Деление территории на фрагменты, в каждом из которых устанавливается АТС, называется районированием. Эти АТС стали именоваться районными. Отсюда и сокращение – ПАТС.

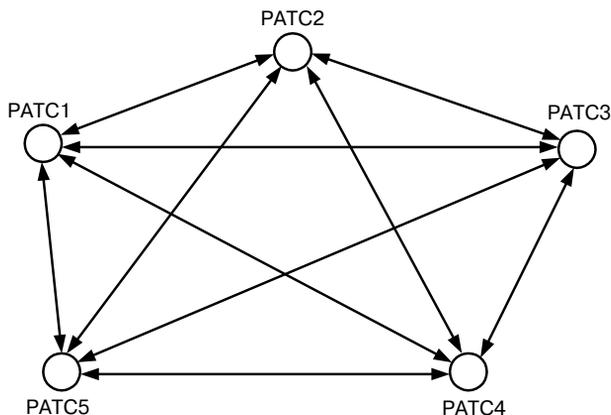


Рис. 2.4. Районированная городская телефонная сеть

На рис. 2.4 показан пример районированной сети, в которой установлены пять ПАТС. Все пять коммутационных станций связаны между собой по принципу «каждая с каждой». В период развития ГТС на базе декадно-шаговых и координатных АТС этот способ построения сети использовался, если максимальное количество обслуживаемых абонентов не превышало 80000. При цифровизации ГТС такая структура межстанционной связи может применяться для создания значительной части местных телефонных сетей. Исключением могут стать ГТС в мегаполисах.

Естественно, что в составе каждой АТС используются выносные концентраторы. ГТС одной и той же емкости может быть построена за счет установки разного числа ПАТС. При этом средняя емкость ПАТС изменяется. Задача выбора емкости ПАТС рассматривается в девятой лекции. При большом числе ПАТС количество пучков СЛ становится чрезмерно большим. Их емкость невелика, что приводит к низкому использованию каждой СЛ. Транспортную сеть с большим количеством пучков СЛ сложнее управлять. При построении ГТС на базе декадно-шаговых и координатных станций при емкости сети свыше 80000 номеров самой экономичной была признана структура связи ПАТС через УВС. Пример сети с УВС показан на рис. 2.5. Предполагается, что в составе ГТС выделено два узловых района. В первом узловом районе расположены три ПАТС. Для станции под пятнадцатым номером показаны три типичных варианта включения телефонных аппаратов. Во втором узловом районе установлены две ПАТС. Все ПАТС одного узлового района связаны между собой по принципу «каждая с каждой».

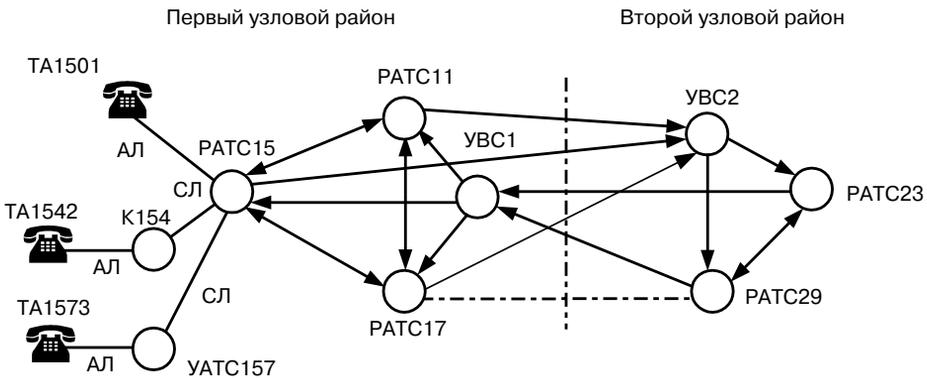


Рис. 2.5. Городская телефонная сеть с узлами входящего сообщения

При большом взаимном тяготении и при наличии технической возможности между некоторыми ПАТС разных узловых районов могут использоваться прямые (не проходящие через УВС) пучки СЛ. Такой вариант показан штрихпунктирной линией для ПАТС17 и ПАТС29. Для обеспечения высокой надежности сети оборудование УВС устанавливается, как минимум, на двух площадках. Эти площадки расположены в зданиях, где размещается оборудование ПАТС.

В крупных городах применение УВС не обеспечивало экономичное построение телефонных сетей. В результате проведенных исследований было установлено, что при емкости ГТС свыше 800000 номеров целесообразно использовать узлы двух типов: УИС и УВС.

Оборудование УИС и УВС в каждом узловом районе для повышения надежности связи разносилось, как минимум, на две площадки. Типичная структура сети с УИС и УВС приведена на рис. 2.6. Показаны два узловых района. В первом узловом районе изображена только одна РАТС. Для нее, как и на предыдущем рисунке, иллюстрируются три основных варианта включения терминалов. Во втором узловом районе насчитывается три РАТС. Они связаны между собой по принципу «каждая с каждой». Пучок СЛ между УИС2 и УВС22 обеспечивает также еще один маршрут установления соединения между РАТС второго узлового района.

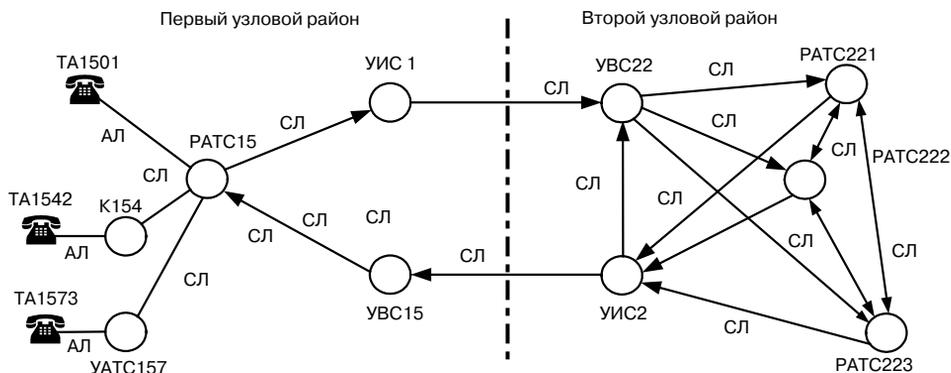


Рис. 2.6. Городская телефонная сеть с узлами исходящего и входящего сообщения

Выбор оптимального количества узловых районов и определение их границ для территории города – сложная задача, для решения которой используются современные экономико-математические методы. Принципы решения подобных задач излагаются в девятой лекции.

2.2.2. Сельские телефонные сети

В соответствии с основными принципами ЕСЭ РФ назначение каждой СТС состоит в том, чтобы обеспечить обслуживание абонентов, которые располагаются в границах одного сельского муниципального (административного) района. На начальном этапе развития СТС одной из главных задач считалась организация внутрипроизводственной телефонной связи, что предопределило применение коммутационных станций малой емкости. Соотношение между величинами емкости ГТС и СТС таково: примерно 88% емкости ТФОП установлено в российских городах. По количеству эксплуатируемых АТС статистика иная. Свыше 60% всех коммутационных станций установлено в сельской местности. Еще одна важная особенность СТС заключается в том, что ее ресурсы (в основном, речь

идет о транспортной сети) активно использовались для телеграфной связи, подачи программ звукового вещания и обмена данными. Типичная структура СТС приведена на рис. 2.7. Она иллюстрирует два используемых в СТС способа связи между ОС и ЦС: радиальный и радиально-узловой. ОС902 и ОС903 соединены с ЦС непосредственно. Этот способ связи называется радиальным. ОС911 и ОС912 включены в УС, что соответствует радиально-узловой схеме.

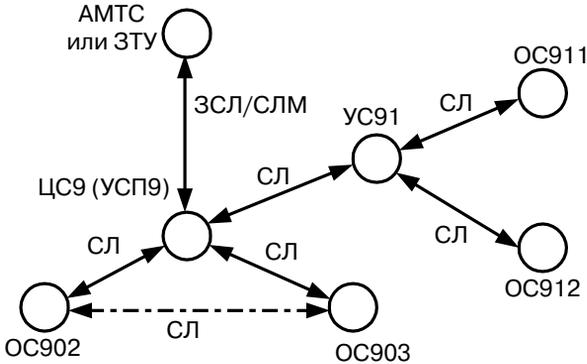


Рис. 2.7. Структура типичной сельской телефонной сети

Штрихпунктирной линией на рис. 2.7 показан прямой пучок СЛ между двумя ОС. Такая возможность предусмотрена принципами построения системы сельской связи, но на практике используется очень редко.

В ряде руководящих документов встречался термин «комбинированная сеть». Он использовался для того, чтобы отметить возможность создания в районном центре ГТС. Тогда на территории сельского административного района формально сосуществуют и СТС, и ГТС. В официальных документах, опубликованных в последние годы, термин «комбинированная сеть» не используется.

2.3. Зоновые телефонные сети

Термин «зональная телефонная сеть» появился как следствие разработки системы и плана нумерации ТфОП. Эти аспекты ТфОП рассматриваются в пятой лекции. Термин «зональная сеть» не используется в зарубежной технической литературе. Тем не менее, его использование в руководящих документах Администрации связи России можно считать логичным. На рис. 2.8 изображены основные компоненты зональной телефонной сети, подтверждающие целесообразность выделения одноименного уровня иерархии в ТфОП.

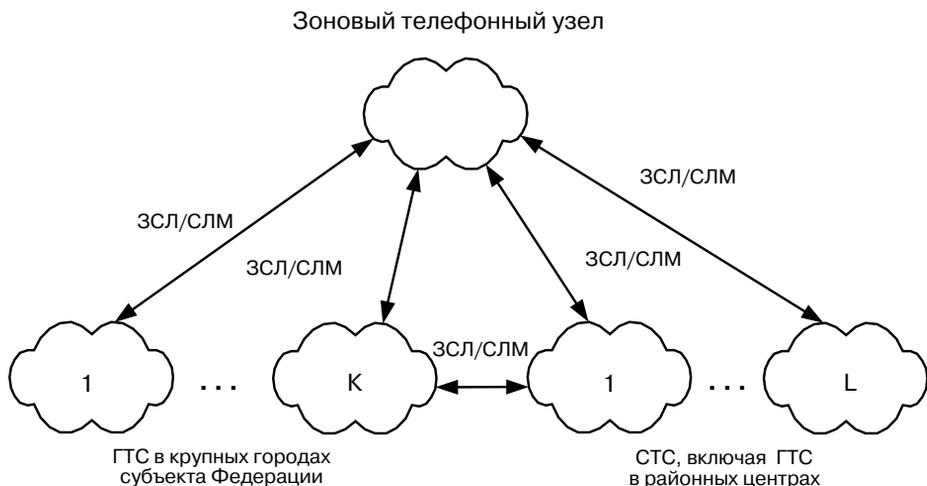


Рис. 2.8. Основные компоненты зональной телефонной сети

Важнейшим компонентом зональной телефонной сети считается ГТС, расположенная в центре субъекта Федерации. Пучками ЗСЛ и СЛМ эта сеть связана с ГТС всех крупных городов, которые – административно – обычно подчиняются центру субъекта Федерации. Предполагается, что в составе субъекта Федерации создано K таких ГТС. С центром субъекта Федерации связаны также L сельских сетей. В их состав входят и ГТС районных центров. При большом взаимном тяготении между ГТС крупных городов и ЦС некоторых сетей сельской связи могут создаваться прямые пучки ЗСЛ/СЛМ. На рис. 2.8 такой пучок ЗСЛ/СЛМ показан для k -ой ГТС и первой СТС.

На рис. 2.9 показаны основные виды соединений, устанавливаемых при телефонной связи внутри одной зоны. Эти соединения можно проиллюстрировать для трех терминалов, включенных в РАТС, ЦС и одну из ОС.

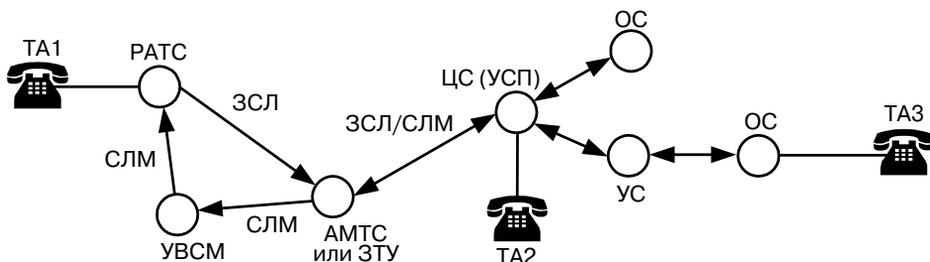


Рис. 2.9. Виды соединений при телефонной связи внутри зоны

При установлении соединения между ТА1 и ТА2 тракт обмена информацией будет установлен через РАТС, АМТС (или ЗТУ) и ЦС. В данном случае в ГТС райцентра подразумевается установка ЦС. Если в СТС используется УСП, то ТА2 включается в одну из РАТС, входящих в состав ГТС районного центра. При установлении соединения между ТА1 и ТА3 разговорный тракт проходит через пять коммутационных станций: РАТС, АМТС (или ЗТУ), ЦС (или УСП), УС и ОС. Соединение между ТА2 и ТА3 устанавливается внутри СТС.

2.4. Междугородная и международная телефонные сети

В течение XX века междугородная и международная телефонная связь в России предоставлялась одним Оператором. В начале XXI века началась демонополизация рынка междугородной и международной телефонной связи. Связь абонентов, включенных в разные ГТС «А» и «В» на рис. 2.10, может быть установлена через любую из нескольких сетей междугородной связи, которые эксплуатируются разными Операторами. Для рассматриваемой модели изображено M сетей междугородной связи. Аспекты выбора сети для установления междугородных соединений рассматриваются в пятой лекции.

Сети операторов междугородной связи

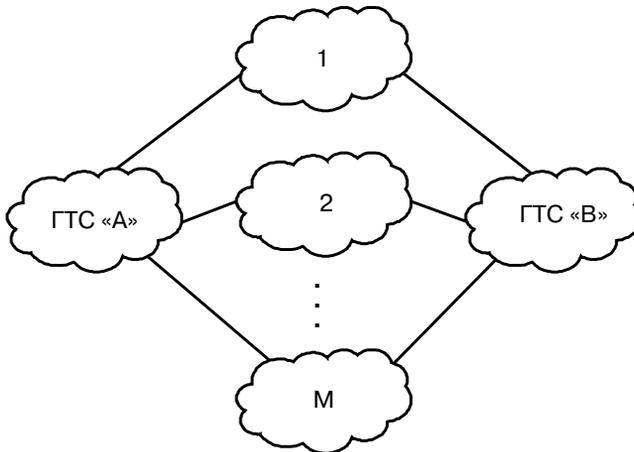


Рис. 2.10. Современные принципы организации междугородной телефонной связи

Целесообразно выделить два важных аспекта междугородной телефонной связи. Во-первых, Россия расположена в десяти часовых поясах. Поэтому у некоторых субъектов Федерации комфортный период времени для междугородных телефонных разговоров существенно меньше, чем аналогичный период для разговоров в местных сетях. Во-вторых, соотношение капитальных затрат на коммутационные станции и соединяющие их каналы (вместе с системами передачи) для междугородной и местных сетей, как правило, существенно различается. В частности, при построении ГТС основная доля инвестиций Оператора направляется на приобретение и установку коммутационного оборудования. При построении междугородной телефонной сети (особенно между городами, значительно удаленными друг от друга) основная доля затрат Оператора приходится на каналы между коммутационными станциями. Поэтому оптимизационные задачи, решаемые при построении междугородной и местных сетей, имеют определенные различия.

Структуры сетей междугородной телефонной связи разных Операторов имеют много общего. По этой причине достаточно рассмотреть структуру сети междугородной телефонной связи, созданной до монополизации рынка дальней связи. Ее модель приведена на рис. 2.11. Она иллюстрирует пути, по которым можно установить соединение между абонентами, находящимися в городах «А» и «В». Для рассматриваемого фрагмента ТФОП показан участок между двумя АМТС.

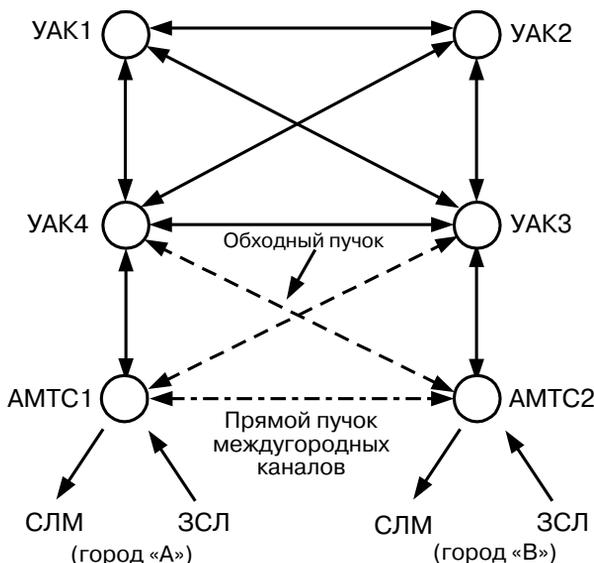


Рис. 2.11. Структура эксплуатируемой сети междугородной телефонной связи

Кроме двух АМТС показаны также узлы автоматической коммутации (УАК), выполняющие функции транзитных станций. Обязательные направления связи выделены сплошными линиями.

Штрихпунктирные линии соответствуют тем направлениям связи, которые создаются при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Все УАК соединяются между собой по принципу «каждый с каждым». Любая АМТС должна быть связана, как минимум, с двумя УАК. При значительном трафике между АМТС может быть организован прямой пучок междугородных каналов.

Обычно емкость таких пучков рассчитывается на высокую вероятность потерь. Тогда эти пучки используются весьма продуктивно, а избыточная нагрузка обслуживается за счет обходных путей.

Среди возможных маршрутов выделяют путь последнего выбора (ППВ). Он выбирается в том случае, когда соединение не может быть установлено по иному, более «короткому», пути. Обычно ППВ проходит через два УАК.

Модель, показанная на рис. 2.11, позволяет определить возможные варианты установления соединения между абонентами, включенными в ГТС городов «А» и «В». Между двумя АМТС могут быть установлены соединения таких видов:

- АМТС1 – АМТС2 (если существует прямой пучок каналов);
- АМТС1 – УАК3 – АМТС2 (если существует обходный пучок каналов);
- АМТС1 – УАК4 – АМТС2 (если существует обходный пучок каналов);
- АМТС1 – УАК4 – УАК3 – АМТС2.

Трафик дальней связи постоянно растет, что стимулирует организацию множества прямых пучков междугородных каналов. Иерархические принципы, использованные при формировании структуры междугородной сети, становятся малоэффективными.

Общие принципы организации международной телефонной связи показаны на рис. 2.12.

Рассматриваемая модель содержит три МЦК. Эти центры размещаются в трех разных странах. Связь между МЦК, расположенными в странах «А» и «В», может проходить по прямому пучку междугородных каналов или через транзитный центр, который находится в стране «С».

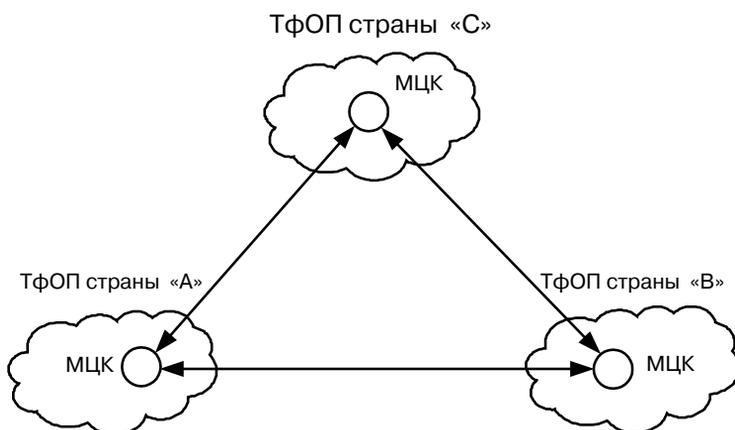


Рис. 2.12. Связь международных центров коммутации

Прямой пучок каналов создается при значительном числе соединений, которые устанавливаются между терминалами абонентов двух стран. Если результаты технико-экономического анализа не подтверждают целесообразность организации прямого пучка каналов, который непосредственно связывает МЦК двух стран, то используется возможность создания транзитных связей. Эти связи могут устанавливаться и в тех случаях, когда прямой пучок международных каналов недоступен.

Рекомендация ИТУ-Т E.171 ограничивает количество транзитных международных каналов между МЦК двух стран. Их должно быть не более четырех. Это означает, что в соединении не должно участвовать более трех транзитных МЦК.

Соображения, изложенные выше, свидетельствуют о том, что для ТфОП определен набор возможных структур на всех иерархических уровнях. СПС и СДЭ, о структуре которых будет говориться в двенадцатой и двадцать второй лекциях, основаны на сетевых архитектурах. Эти сети начали создаваться позже. При их проектировании были учтены функциональные возможности современных средств передачи, коммутации и обработки информации, а также использованы новые результаты исследований, относящихся к выбору оптимальной структуры сети.

Структуры телефонных сетей всех уровней иерархии постепенно изменяются, что обусловлено рядом причин. В первую очередь, следует выделить причины внутреннего характера, связанные с развитием ТфОП.

Важнейшей из таких причин можно считать цифровизацию телефонной сети. Этот процесс рассматривается в лекции, которая названа «Сетевые технологии». Внешние причины изменения структуры ТфОП обусловлены переходом к NGN.



Ключевые слова: структура сети, районирование, уровни иерархии, транзит, сеть доступа, концентратор, местная телефонная сеть, городская телефонная сеть, сельская телефонная сеть, зональная телефонная сеть, междугородная телефонная сеть, международная телефонная сеть, Оператор связи.



Контрольные вопросы

1. Сколько иерархических уровней можно выделить в российской телефонной сети общего пользования?
2. Допустим, что все РАТС, показанные на рис. 2.4, способны выполнять функции транзитных узлов. Сколько вариантов установления соединения между РАТС1 и РАТС3 может быть использовано?
3. До какой емкости ГТС использовался способ связи коммутационных станций «каждая с каждой»?
4. Свыше какой емкости ГТС был экономически эффективен вариант применения УИС и УВС?
5. Каких станций больше: городских или сельских?
6. Найдите, используя структуру сети, показанную на рис. 2.11, самый «длинный» путь между двумя АМТС при установлении междугородного соединения.
7. Всегда ли международные центры коммутации двух стран связаны между собой непосредственно?



Задачи и упражнения

1. Рассчитайте количество пучков соединительных линий в телефонной сети, состоящей из пятидесяти станций, которые связаны между собой по принципу «каждая с каждой». В телефонную станцию, обслуживающую территорию в виде круга с радиусом R , включены три абонентские линии. Их длины равномерно распределены на отрезке от 0,1 до 0,9 R . Найдите среднюю длину абонентской линии.



Литература к лекции 2

- 2.1. Теория сетей связи: Учебник для вузов связи/Рогинский В.Н., Харкевич А.Д., Шнепс М.А. и др.; Под ред. В.Н. Рогинского. – М.: Радио и связь, 1981.
- 2.2. Соколов Н.А. Телекоммуникационные сети. – М.: Альварес Пабблишинг, 2004 (<http://nicksokolov.narod.ru/lib/html>).

Лекция 3

Сетевые технологии

Faciant meliora potents.
(Пусть, кто может, сделает лучше)

3.1. История развития сетевых технологий в ТФОП

Термин «технология» применим для описания ряда процессов функционирования как ТФОП в целом, так и большинства используемых в ней технических средств. В лекции рассматриваются только те технологии, которые перечислены в прямоугольниках на рис. 3.1. Возможны разные способы классификации телекоммуникационных технологий. В предлагаемой классификации акцент сделан на технологиях передачи и коммутации. Основной материал этой лекции посвящен сетевым аспектам цифровой коммутации.

Технологии передачи, как упоминалось ранее, целесообразно рассматривать применительно к транспортной сети. С практической точки зрения (в частности, при проектировании ТФОП) проблемы передачи и коммутации разделить не так просто. Следует упомянуть еще один класс технологий, непосредственно не относящийся к сетевым. Более того, этот класс технологий практически не влияет на принципы модернизации ТФОП. Тем не менее, он сыграл ключевую роль в модернизации ТФОП в последней четверти XX века. Речь идет о программном управлении. Использование программного управления заметно расширило функциональные возможности ТФОП, а также повысило эффективность системы технической эксплуатации оборудования передачи и коммутации.

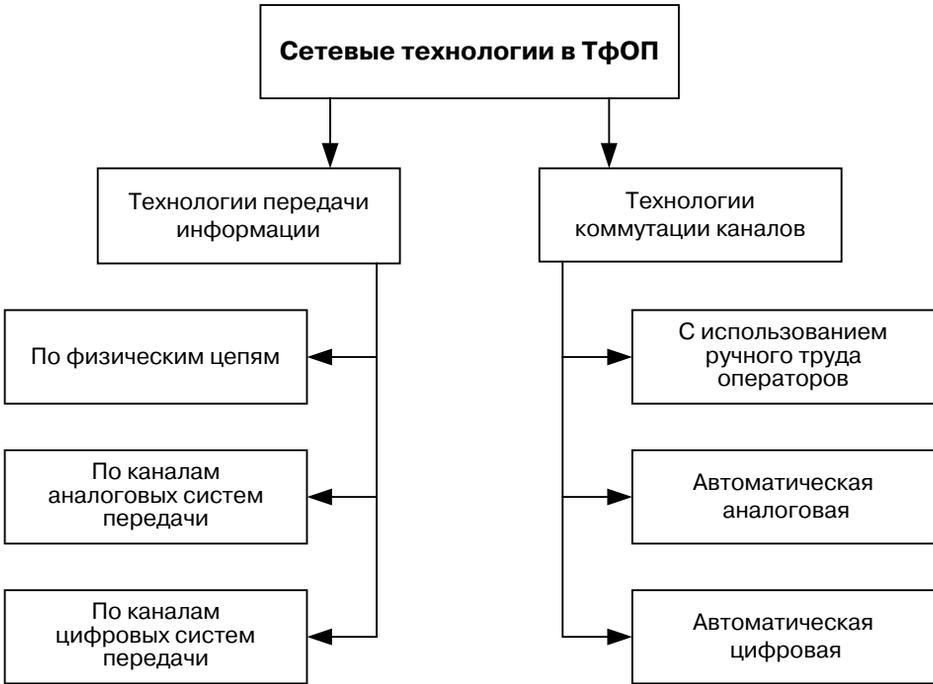


Рис. 3.1. Классификация технологий, используемых в ТФОП

3.2. Технологии передачи информации

На заре развития ТФОП систем передачи не существовало. Для передачи речевых сигналов использовались физические цепи, организованные по воздушным и кабельным линиям связи. Сначала применялись однопроводные линии. Такое решение известно как схема «провод – земля». Затем начался переход к двухпроводным цепям на абонентском участке, а для межстанционной связи стали применяться и трехпроводные линии.

Появление систем передачи обеспечило возможность организации телефонной связи на большие расстояния. Постепенно физические цепи были «вытеснены» на уровень сети доступа. Они продолжают использоваться и в ряде городских транспортных сетей.

Телефонный терминал преобразует акустические колебания в сигналы переменного тока. Они-то и передаются по физическим цепям. Дополнительное преобразование сигналов переменного тока не требуется. Спектр телефонного сигнала не ограничивается. Производится – при необходимости – изменение уровня сигнала, что определяется характеристиками используемой физической цепи. Такой подход подобен принципу: «As is» (как есть).

Аналоговые системы передачи, появившиеся в начале XX века (первый образец был создан в 1915 году), предназначались для телефонной связи. Они формировали каналы ТЧ. С этой целью спектр телефонного сигнала с помощью фильтра ограничивается диапазоном 300 – 3400 Гц. Процедуры модуляции и формирования группового сигнала позволяют уплотнить тракт обмена информацией. Усилители, размещаемые в линии связи, обеспечивают передачу группового сигнала на большие расстояния.

Применение аналоговых систем многоканальной передачи способствовало активному развитию сетей междугородной и международной связи. Для России, с учетом размеров ее территории, системы передачи стали необходимостью и для построения сетей сельской связи. В процессе производства и эксплуатации аналоговых систем передачи выявился ряд их существенных недостатков. Начался переход к цифровым системам передачи (ЦСП). Пока в российской ТфОП продолжается эксплуатация и ранее установленных аналоговых систем передачи.

Датой появления первой ЦСП можно считать 1870 год, когда в коммерческую эксплуатацию была введена аппаратура для обмена телеграфными сообщениями. В ее состав входили электро-механические регенераторы. Очевидно, что электро-механические принципы регенерации не могли использоваться в телефонии. ЦСП для телефонной связи были разработаны на основании теоретических положений преобразования аналоговых сигналов в цифровые. Практическое применение нашли ЦСП, использующие импульсно-кодированную модуляцию (ИКМ). Первые ЦСП относились к так называемой плезиохронной иерархии. ЦСП этого семейства стали широко использоваться на всех уровнях иерархии ТфОП. В отечественных ГТС чаще других применялись системы, объединенные общими названиями ИКМ-30 и ИКМ-120. На междугородном уровне обычно применялись ЦСП с большей пропускной способностью – ИКМ-480. В СТС применялись пучки малой емкости. Поэтому, наряду со стандартными ЦСП типа ИКМ-30 и ИКМ-120, стали устанавливаться ЦСП, образующие пятнадцать ОЦК. Эти ЦСП получили название ИКМ-15.

Пропускная способность ЦСП вида ИКМ-30 и ИКМ-120 различалась более чем в четыре раза. Таковы принципы мультиплексирования для плезиохронной иерархии ЦСП. В новом поколении ЦСП, получившем название синхронная цифровая иерархия (SDH – Synchronous Digital Hierarchy), приняты иные принципы мультиплексирования. Номиналы пропускной способности соседних уровней различаются ровно в четыре раза. В системах передачи поколения SDH введен также ряд других изменений, которые заметно улучшили эксплуатационные показатели транспортной сети.

Одним из важнейших свойств ЦСП считается высокая помехоустойчивость. При приеме цифрового сигнала, параметры которого при распространении по линии изменяются и искажаются из-за влияния помех, необходимо решить: что было передано – «ноль» или «единица». Такая ситуация обусловлена тем, что цифровой сигнал может иметь только два состояния. Принятие решения при приеме аналогового сигнала представляется более сложным. Он имеет несчетное число состояний.

С другой стороны, при формировании цифрового сигнала неизбежно возникают искажения квантования. При большом числе преобразований типа «аналог-цифра» эти искажения накапливаются. В результате может сложиться положение, когда преимущества ЦСП, связанные с высокой помехоустойчивостью, окажутся не столь существенными. Это означает, что преимущества ЦСП в полной мере раскрываются в тех случаях, когда ТФОП построена с минимальным числом преобразований типа «аналог-цифра». Необходимым условием реализации преимуществ ЦСП становится цифровая коммутация, но этого не достаточно. Следует разработать системно-сетевые решения, позволяющие разумно сочетать цифровые методы передачи и коммутации.

3.3. Синхронизация

Применение ЦСП потребовало решить ряд новых задач, которые не возникали при использовании аналоговой техники передачи и коммутации. Эти задачи усложнились при цифровизации ТФОП. Речь идет о синхронизации. Под синхронизацией понимается процедура согласования между функциональными элементами сети связи времени выполнения некоторых важных процессов передачи, коммутации и обработки информации. Термин «синхронизация» используется для описания различных процессов функционирования сети связи и ее отдельных элементов. Применительно к цифровой ТФОП целесообразно рассматривать три аспекта синхронизации:

- тактовая синхронизация;
- цикловая синхронизация;
- сетевая синхронизация.

Тактовая синхронизация основана на выделении сигнала синхронизации из общего потока битов. Она необходима для согласования во времени работы устройств передачи и приема на уровне битов (тактовых интервалов). Цикловая синхронизация необходима для определения в общем потоке битов начала и конца блоков информации, поступающей от разных источников, для правильного распределения ее на приеме. Сетевая синхронизация поддерживает заданные показатели долговременной точности и стабильности

тактовых сигналов в разных точках сети (в том числе, при международных соединениях) с тем, чтобы обеспечивалось высокое качество передачи информации.

Для сетевой синхронизации используются кварцевые и атомные генераторы. Они вырабатывают эталонные сигналы с высокой точностью. Например, стабильность обычного кварцевого генератора составляет 10^{-6} за год. Стабильность атомных генераторов, подразделяемых на рубидиевые, цезиевые и водородные, существенно выше. В частности, цезиевый генератор обеспечивает стабильность 10^{-13} за год.

3.4. Технологии коммутации каналов

Коммутация, выполняемая операторами (телефонистами), в настоящее время используется преимущественно в различных ЦОВ, то есть в тех элементах ТФОП, которые были названы «Средствами поддержки услуг». К подобным системам можно отнести и некоторые случаи использования УАТС, когда входящие вызовы целесообразно принимать специально назначенным операторам. В сетях междугородной и международной телефонной связи продолжается (но в меньших объемах) использование коммутаторов, обслуживаемых операторами. Это связано с рядом причин развития ТФОП и с поддержкой дополнительных услуг некоторых видов.

Процессы установления соединений в местных телефонных сетях практически полностью автоматизированы. Используются две технологии коммутации: аналоговая и цифровая. Их основное различие показано на рис. 3.2. Верхний фрагмент модели изображает гипотетическую коммутационную станцию, которая должна соединить вход «1» с выходом « N ». В нижней части модели показаны упрощенные способы решения этой задачи для двух технологий коммутации.

В аналоговой коммутационной станции соединение входа «1» с выходом « N » может быть представлено как процесс замыкания ключей $K1$ и $K2$. В результате между заранее заданными входом и выходом образуется тракт обмена информацией. Для ТФОП при аналоговой коммутации этот тракт обеспечивает прием и передачу информации в полосе пропускания канала ТЧ. Процесс связи входа «1» с выходом « N » в цифровой коммутационной станции можно описать с помощью запоминающего устройства, в котором сигнал задерживается на время, определяемое устройством управления. В модели предполагается, что для связи входа «1» с выходом « N » сигнал должен задерживаться на время Nt . Скорость передачи в установленном соединении определяется скоростью обмена информацией по ОЦК – 64 кбит/с.

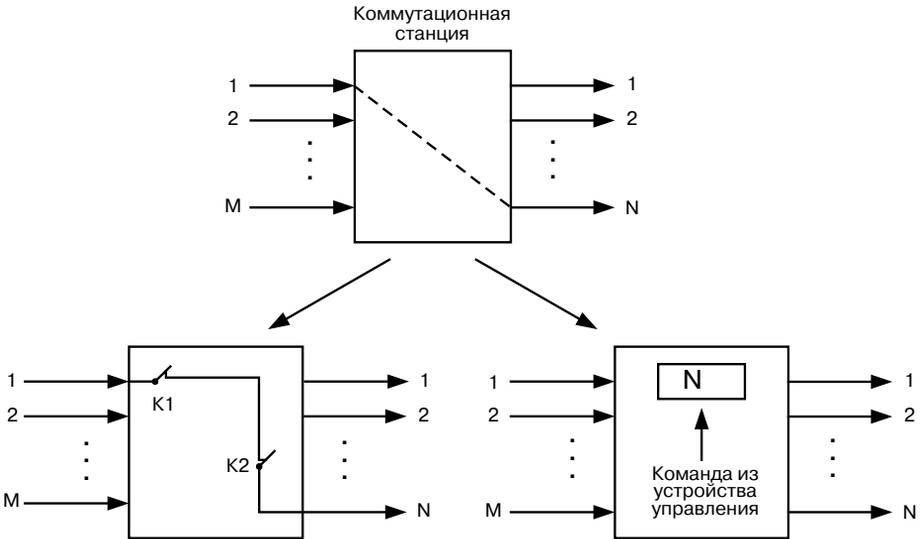


Рис. 3.2. Аналоговая и цифровая коммутация в ТфОП

Технологические и эксплуатационные преимущества цифровой коммутации сразу стали очевидны всем участникам телекоммуникационного рынка. Задача состояла в том, чтобы выбрать оптимальную стратегию применения цифрового коммутационного оборудования. Для международной и междугородной телефонных сетей возможна только одна стратегия – замещение аналоговых АМТС и МЦК цифровыми станциями. Для ГТС и – отчасти – СТС такой подход представляется не оптимальным, а в некоторых случаях и невозможным. В частности, в ГТС с узлами невозможно обеспечить выполнение норм, установленных для допустимого затухания сигнала в разговорном тракте.

3.5. Цифровизация городских телефонных сетей

Для цифровизации ГТС была разработана концепция «наложенной сети», которая позволяет эффективно использовать основные преимущества цифровой коммутации. Суть этой концепции состоит в том, что для связи между цифровыми коммутационными станциями не должны использоваться маршруты, проходящие через аналоговые транзитные узлы. В нижней плоскости рис. 3.3 показана модель районированной ГТС, которая состоит из четырех аналоговых РАТС. Предполагается, что все эти станции связаны между собой пучками СЛ, которые образованы физическими цепями или каналами аналоговых систем передачи. Задача заключается в выборе метода цифровизации ГТС, который позволит поэтапно заменить все эксплуатируемые аналоговые РАТС.

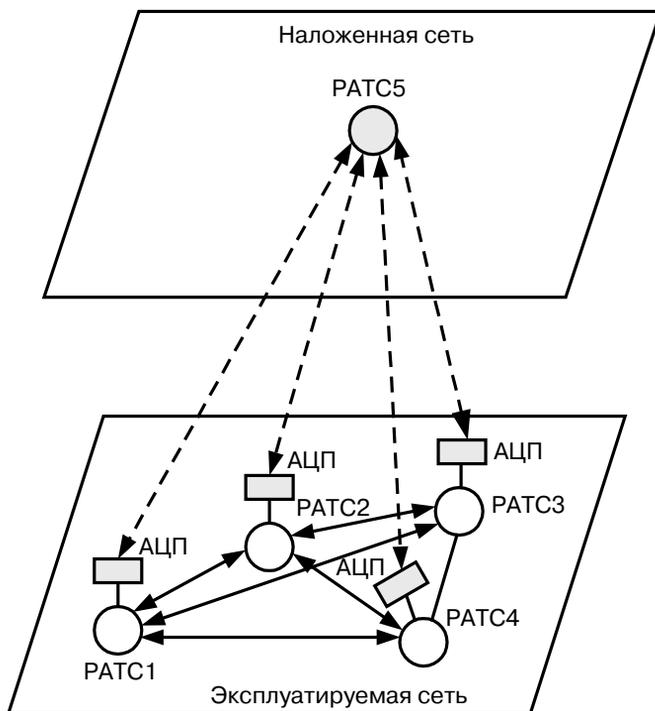


Рис. 3.3. Первый этап цифровизации районированной ГТС

В верхней плоскости, где далее будет иллюстрироваться процесс формирования «наложенной сети», изображена новая цифровая коммутационная станция. Ей присвоено обозначение РАТС5. Можно рассматривать и вариант замены одной из эксплуатируемых РАТС. Принципы создания «наложенной сети» при этом не меняются. Для соблюдения норм затухания и высокого качества телефонной связи новая коммутационная станция связана со всеми аналоговыми РАТС цифровыми трактами (здесь и далее они показаны пунктирными линиями). На каждой аналоговой РАТС устанавливается оборудование аналого-цифрового преобразования (АЦП). Оно необходимо для сопряжения цифровых и аналоговых систем коммутации.

Цифровизацию ТфОП следует осуществлять целенаправленно. Это означает, что необходимо заранее определить и структуру сети, которая образуется после замены всех аналоговых РАТС, и основные показатели, которым должен отвечать модернизируемый фрагмент ТфОП. Предположим, что в результате проведенных исследований найдена оптимальная структура ТфОП. Она показана на рис. 3.4. В состав ГТС входит одна РАТС, содержащая четыре выносных концентратора.

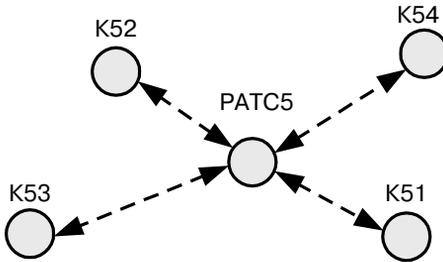


Рис. 3.4. Оптимальная структура модернизированной ГТС

Следующие этапы цифровизации ГТС должны быть направлены на достижение конечной цели – формирования нерайонированной сети, в которой функционирует одна АТС с четырьмя выносными концентраторами.

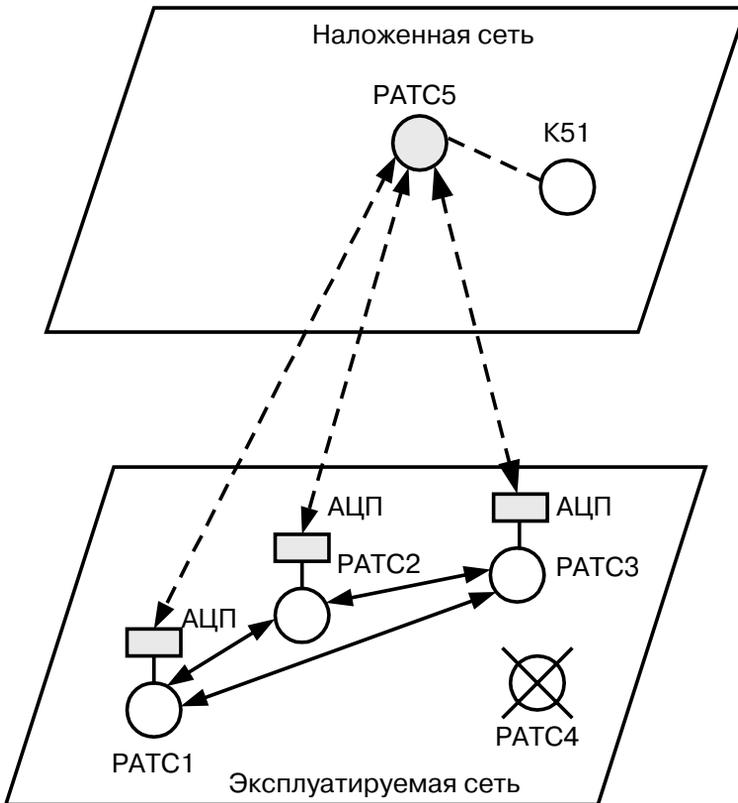


Рис. 3.5. Второй этап цифровизации районированной ГТС

На рис. 3.5 показаны те изменения, которые происходят на втором этапе цифровизации ГТС. Демонтируется РАТС4. Для обслуживания абонентов этой станции устанавливается концентратор под номером 51.

Межстанционная связь между аналоговыми РАТС не изменяется. При создании соединения между терминалами, включенными в РАТС5 и ее концентратор, разговорный тракт не проходит через аналоговое коммутационное оборудование – как и требуется в концепции «наложенной сети». При связи двух терминалов, включенных в аналоговое и цифровое коммутационное оборудование, необходим лишь один переход с аналога на цифру или с цифры на аналог. Это также одно из фундаментальных требований, которое определено в концепции «наложенной сети».

Каждый следующий этап цифровизации ГТС заключается в замене одной из оставшихся в эксплуатации аналоговых РАТС. На рис. 3.6 и 3.7 показаны изменения, которые связаны с демонтажем РАТС2 и РАТС1 соответственно. Вместо каждой из этих РАТС вводится в эксплуатацию выносной концентратор.

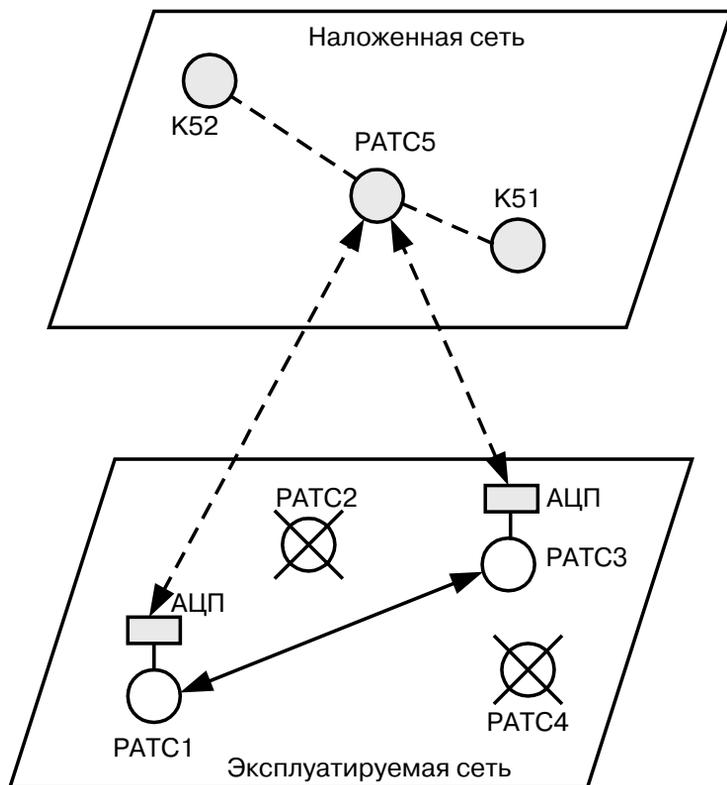


Рис. 3.6. Третий этап цифровизации районированной ГТС

После замены ПАТС3 концентратором К54 процесс цифровизации ГТС будет полностью завершен. Структура цифровой ГТС полностью соответствует оптимальной топологии, которая была выбрана заранее. Она приведена на рис. 3.4.

При цифровизации ГТС с узлами используются аналогичные принципы. Различия заключаются в способах практической реализации концепции «наложенной сети». Более сложным становится выбор той структуры ГТС, которая будет оптимальной к моменту завершения процесса модернизации сети.

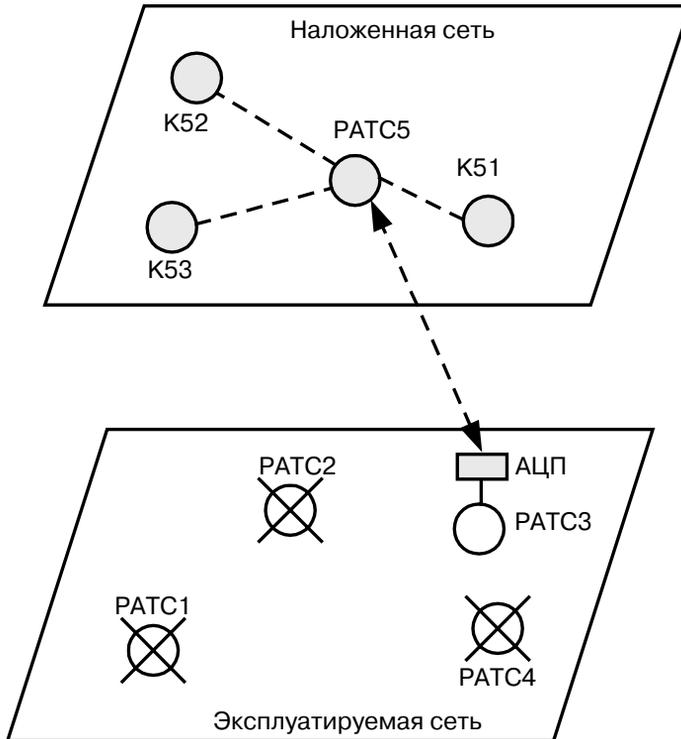


Рис. 3.7. Четвертый этап цифровизации районированной ГТС

Рис. 3.8 иллюстрирует первый этап цифровизации сети, построенной с УИС и УВС. Аналоговая ГТС представлена двумя узловыми районами. В каждом районе ПАТС связаны друг с другом через УИС и УВС. Предполагается, что сначала заменяется ПАТС12. В плоскости «наложенная сеть» показано включение цифровой ПАТС12 в ТС1, которая специально устанавливается для обеспечения сопряжения со всеми аналоговыми узлами эксплуатируемой ГТС. Здесь и далее оборудование АЦП не показано, чтобы не загромождать рисунок.

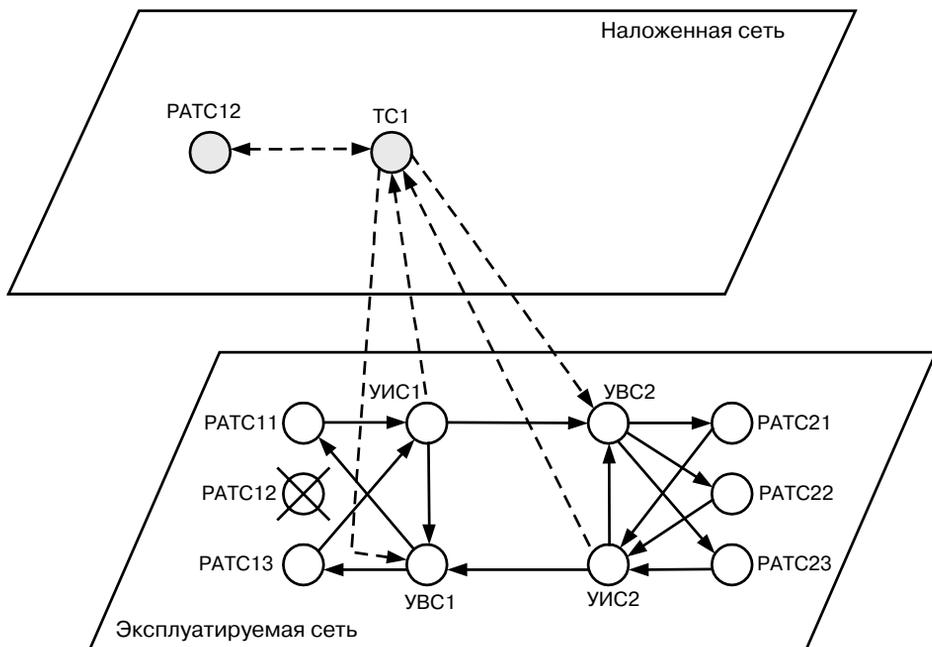


Рис. 3.8. Первый этап цифровизации сети с УИС и УВС

Как и в предыдущем примере, предполагается, что заранее определена структура ГТС, оптимальная к моменту завершения процесса демонтажа всех аналоговых узлов и станций. Структура этой сети изображена на рис. 3.9. Она состоит из двух транзитных станций, в каждую из которых включены три ПАТС. Во все цифровые ПАТС могут быть включены выносные концентраторы. На рисунках, касающихся цифровизации сети с УИС и УВС, выносные концентраторы не показаны.

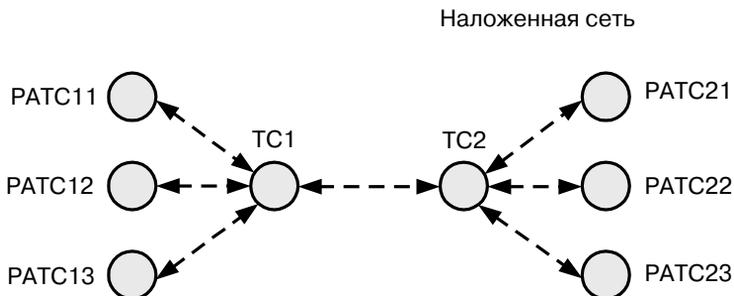


Рис. 3.9. Оптимальная структура модернизированной ГТС

На рис. 3.10 представлены изменения, которые выполняются на втором этапе цифровизации ГТС с узлами. Демонтируются две РАТС, расположенные в разных узловых районах. Поэтому в составе «наложенной сети» устанавливается еще одна ТС. Она предназначена для подключения цифровых РАТС, которые будут устанавливаться во втором узловом районе. Структура «наложенной сети» становится более похожей на ту топологию, которая была выбрана в качестве оптимальной – рис. 3.9.

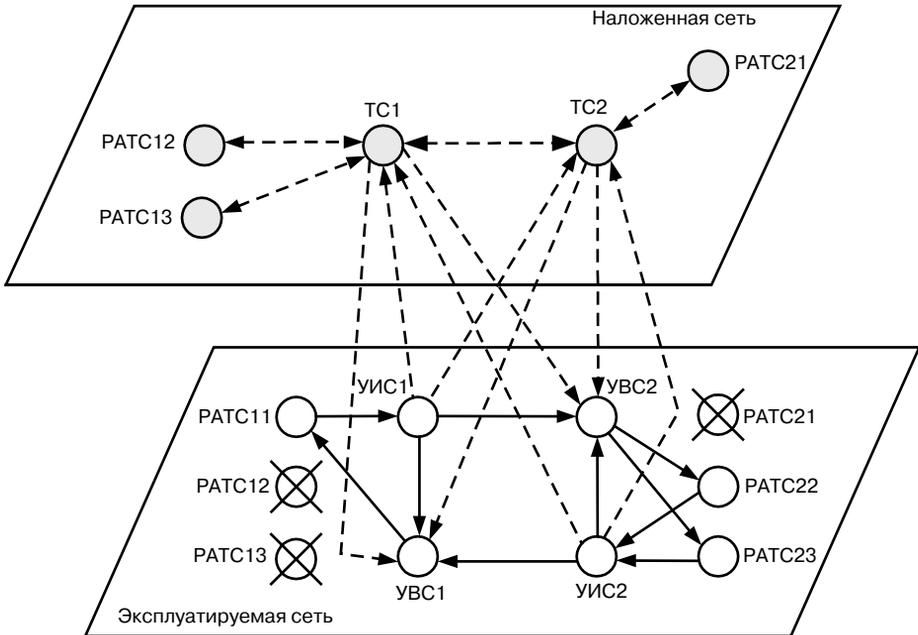


Рис. 3.10. Второй этап цифровизации сети с УИС и УВС

В первом узловом районе в эксплуатации остается только одна аналоговая РАТС. Для ее работы должно продолжаться функционирование УИС1 и УВС1. Такое решение не всегда приемлемо с учетом состояния аналогового узлового оборудования. В ряде случаев приходится переключать аналоговые РАТС в цифровые транзитные станции.

На третьем этапе цифровизации ГТС – рис. 3.11 – предполагается демонтаж аналоговой РАТС11. Это означает, что необходимость в дальнейшей эксплуатации УИС1 и УВС1 отсутствует. Это оборудование также демонтируется. Сохраняются УИС2 и УВС2 для поддержки работы РАТС22 и РАТС23.

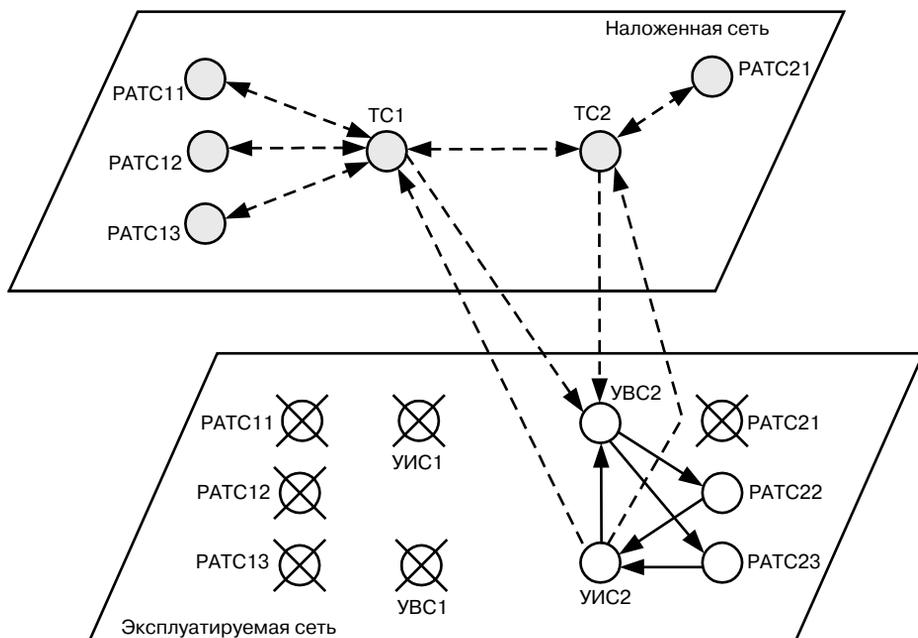


Рис. 3.11. Третий этап цифровизации сети с УИС и УВС

Завершающий этап цифровизации сети с УИС и УВС подразумевает замену двух аналоговых коммутационных станций: PATC22 и PATC23. Одновременно демонтируется оборудование УИС2 и УВС2. В результате формируется структура сети, которая была показана на рис. 3.9. Возможны и другие варианты модернизации ГТС с узлами, но они не меняют суть изложенных принципов построения «наложенной сети».

3.6. Цифровизация сельских телефонных сетей

Процесс цифровизации СТС совпал с необходимостью радикальной модернизации всей системы сельской связи. Внедрение цифрового коммутационного оборудования в сельской местности необходимо начинать с уровня ЦС. Подобный подход соответствует идеологии развития сети, называемой «сверху – вниз». Его использование обосновано двумя факторами.

Во-первых, установка цифровой ЦС гарантирует соблюдение заданных показателей качества передачи информации (в первую очередь, допустимое затухание).

Во-вторых, создаются благоприятные условия для модернизации ГТС районного центра.

На рис. 3.12 показана динамика цифровизации СТС. Структура аналоговой сети представлена в левой верхней части рисунка. Предполагается, что цифровизацию СТС можно провести в три этапа.

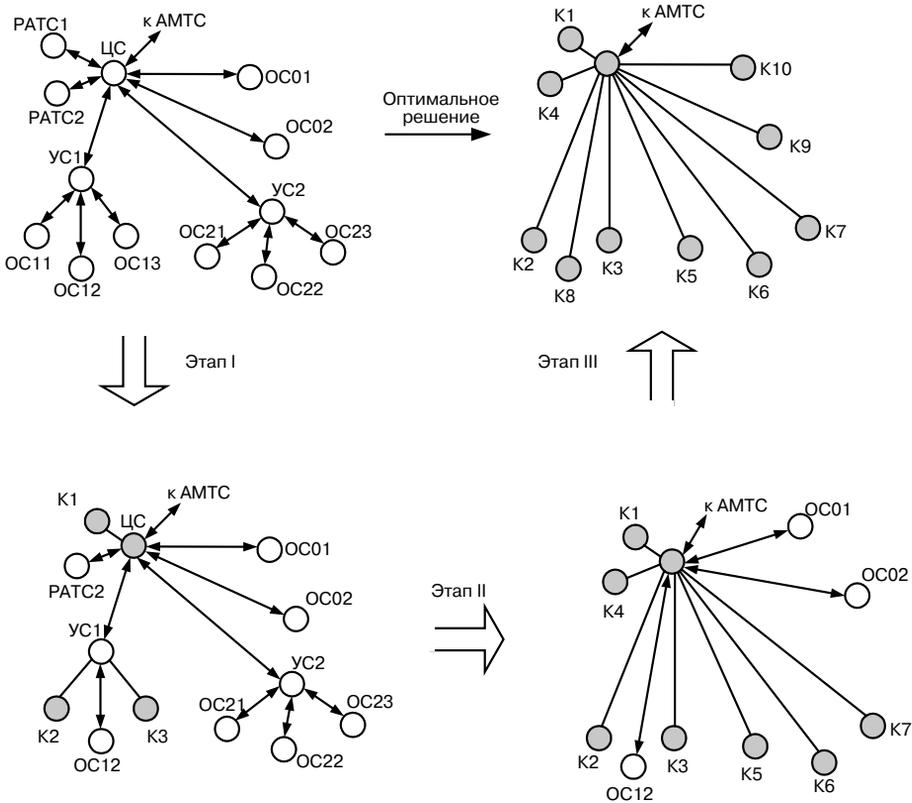


Рис. 3.12. Три этапа цифровизации сельской телефонной сети

Как и при анализе процессов развития ГТС, сначала определяется оптимальное решение. Его пример показан в правом верхнем фрагменте рассматриваемой модели.

Архитектура сети, выбранная в качестве оптимальной, соответствует одному из самых перспективных вариантов модернизации СТС – ее интеграции с ГТС районного центра. В результате такого решения все сельские АТС заменяются концентраторами, которые включены в ЦС.

На первом этапе цифровизации СТС ликвидируется УС1. Две ОС (одиннадцатая и тринадцатая) заменяются концентраторами. Одновременно демонтируется ПАТС1. Вместо этой станции устанавливается первый концентратор.

Другая УС демонтируется на втором этапе цифровизации СТС. Предполагается, что все три обслуживаемые ОС сразу же заменяются выносными концентраторами. В результате формируется радиальная структура СТС. Заменяется также и РАТС2 в составе ГТС районного центра. Абоненты, включенные ранее в РАТС2, теперь обслуживаются четвертым выносным концентратором.

Три оставшиеся в эксплуатации аналоговые ОС заменяются концентраторами на третьем этапе цифровизации СТС. Тем самым завершается формирование структуры сети, которая была выбрана в качестве оптимальной до начала цифровизации СТС.

Возможны и другие варианты цифровизации СТС. Их выбор определяется с учетом реальных характеристик эксплуатируемых сетей и прогнозируемого спроса на услуги новых видов. Тем не менее, все практически значимые варианты развития СТС опираются на концепцию «наложенной сети».

Цифровые технологии передачи и коммутации, а также использование идеи программного управления существенно изменили облик ТфОП, обеспечили возможность введения ряда новых видов обслуживания. Процессы дальнейшего использования новых технологий не привели к качественной модернизации ТфОП. Иная ситуация характерна для СПС и СДЭ. Там новые технологии обеспечивают ряд важных изменений, которые существенно расширяют возможности обслуживания абонентов.



Ключевые слова: технология коммутации, коммутация каналов, цифровизация телефонной сети, наложенная сеть, эксплуатируемая сеть.



Контрольные вопросы

1. Назовите преимущества программного управления при развитии ТфОП.
2. Чем обусловлен выбор стратегии «наложенная сеть» при модернизации городских телефонных сетей?
3. Каковы отрицательные последствия использования нескольких преобразований «аналог – цифра» и «цифра – аналог»?
4. Изменяется ли количество коммутационных станций при цифровизации городских и сельских телефонных сетей?
5. Следует ли организовывать цифровые каналы между теми аналоговыми АТС, которые продолжают эксплуатироваться, до их замены цифровыми коммутационными станциями?

6. Почему нецелесообразно использовать стратегию «наложенная сеть» при модернизации междугородной телефонной сети?
7. Влияет ли количество этапов при замене аналоговых сельских АТС на характер стратегии цифровизации СТС?



Задачи и упражнения

1. Составьте алгоритм цифровизации городской телефонной сети, в которой используется три узла входящего сообщения. Используйте следующую гипотезу: в каждый узловой район включено по три РАТС, замена каждого УВС – отдельный этап модернизации сети, при замене каждого УВС все аналоговые РАТС замещаются одной цифровой коммутационной станцией.
2. Попробуйте дополнить классификацию технологий, показанную на рис. 3.1, теми компонентами, которые представляются Вам важными для развития ТФОП.



Литература к лекции 3

- 3.1. Перспективные телекоммуникационные технологии. Потенциальные возможности // Под ред. Л.Д. Реймана, Л.Е. Варакина. – М.: МАС, 2001.
- 3.2. Соколов Н.А. Эволюция местных телефонных сетей. – Пермь: ТОО «Типография «Книга», 1994 (<http://nicksokolov.narod.ru/lib.html>).

Лекция 4

Системы сигнализации ТфОП

Imperare sibi maximum imperium.
(Власть над собой – наивысшая власть)

4.1. Роль сигнализации в телефонной сети

Определение термина «сигнализация» приведено в рекомендациях ИТУ. Под сигнализацией понимается обмен информацией (при автоматической связи), специально предназначенной для установления и завершения соединения, а также для управления сетью и обслуживанием вызова. В технической литературе можно найти менее строгие определения, эмоциональнее выделяющие роль, которую система сигнализации играет в сетях электросвязи. В частности, в одной из ряда публикаций роль сигнализации сравнивают с функциями, которые выполняет нервная система человека.

С точки зрения сетевой иерархии в телефонии принято выделять два вида сигнализации: абонентскую и межстанционную. Часто вводится еще один класс – внутростанционная сигнализация. В книге основной акцент сделан на базовой сети, и основное внимание в этой лекции уделяется межстанционной сигнализации.

Еще один полезный способ классификации систем сигнализации основан на функции передаваемых сообщений. С этой точки зрения обычно выделяют три вида сигналов:

- акустические, информирующие абонента об основных фазах обслуживания вызова (например, «Ответ станции» и «Контроль посылки вызова»);
- линейные, определяющие состояния каналов и устройств коммутации в процессе установления и завершения соединения (в частности, «Занятие» и «Ответ абонента»);
- управляющие (регистровые), содержащие информацию о номере или адресе, которая необходима для организации связи.

Рассматриваемые в этой лекции системы межстанционной сигнализации используются в сетях фиксированной телефонной связи с коммутацией каналов. Мы продолжим изучение систем сигнализации для сетей мобильной связи в четырнадцатой лекции, а в третьей части книги не раз вернемся к этому важнейшему аспекту функционирования сетей связи.

Одна из важных тенденций развития телефонии заключается в существенном усложнении ее коммутационных станций. Этот процесс характерен и для системы сигнализации. Перечень функций, которые возложены на систему сигнализации в современной телефонии, весьма обширен. Он мало похож на тот набор функций, который был характерен для начального этапа автоматизации ТфОП.

4.2. Эволюция систем сигнализации

Первые телефонные станции были ручные. Соединения устанавливали операторы. Набор передаваемых сигналов был минимален. Для организации связи абонент посылал вызывной сигнал оператору. Оператор выяснял у него имя нужного абонента или его номер. Далее оператор посылал сигнал вызова этому абоненту, а после его ответа устанавливал соединение.

В автоматической электросвязи телефонная сигнализация стала применяться с 1890 года, когда Алмоном Строуджером была создана АТС с шаговыми искателями. Станции этого типа способны принимать телефонный номер в виде последовательности импульсов и пауз. В течение следующих ста лет развитие систем сигнализации происходило параллельно с эволюцией коммутационного оборудования. Но до 80-х годов XX века для всех систем телефонной сигнализации были характерны следующие общие свойства:

- обмен сигнальной информацией происходил только между абонентским терминалом и той АТС, в которую он включен (абонентская сигнализация), или между АТС (межстанционная сигнализация);
- сигнализация ориентировалась на традиционные телефонные услуги, известные в англоязычной технической литературе по аббревиатуре POTS (Plain Old Telephone Service);

- сигнализация была ориентирована на установление и завершение соединения между двумя терминалами абонентов;
- сигнальная информация передавалась по тому же каналу, который использовался для соединения.

Процедуры межстанционной сигнализации для декадно-шаговых и машинных АТС были намного ближе к исходному значению слова «сигнализация». Блоки электромеханических АТС, участвующие в установлении телефонного соединения, обменивались электрическими сигналами по тому же каналу, который был выбран для соединения. Такой способ обмена информацией называется сигнализацией в полосе частот телефонного канала или, более кратко, внутрисполосной сигнализацией.

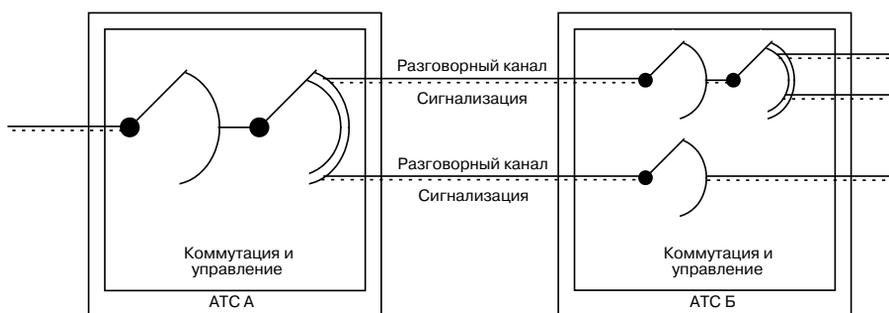


Рис. 4.1. Сигнализация по телефонному каналу

На рис. 4.1 этот принцип сигнализации показан для установления соединения между терминалами двух станций А и Б. Разговорный и сигнальный каналы образованы в одной и той же физической цепи. Эти цепи были двух- или трехпроводными. Однопроводные цепи (так называемая схема «провод – земля») при автоматизации телефонных сетей уже не использовались. Для организации сигнального канала каждая СЛ оборудовалась линейным комплектом. На заре автоматизации эти комплекты состояли, в основном, из электромеханических реле. Отсюда и часто встречающееся название этих комплектов – РСЛ (реле соединительных линий).

Идею обмена информацией по выделенному сигнальному каналу (ВСК), появившуюся одновременно с координатными АТС, иллюстрирует рис. 4.2. ВСК связывает между собой устройства управления коммутационных станций А и Б. В координатных АТС функции устройств управления выполняют регистры и маркеры. Существуют разные варианты реализации обмена линейными и управляющими сигналами по ВСК. Тем не менее, всем этим вариантам присуще одно общее свойство: каждый разговорный канал однозначно связан с ВСК (одним или двумя, в зависимости от типа используемой системы сигнализации).

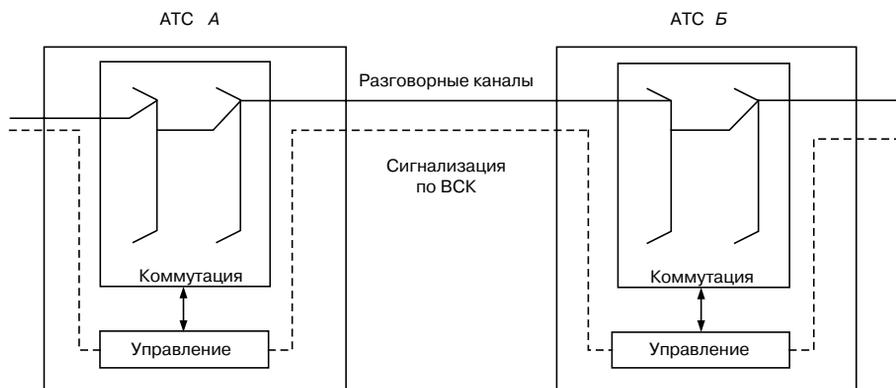


Рис. 4.2. Обмен информацией по выделенному сигнальному каналу

Это свойство нагляднее отражается в названии ВСК в англоязычной технической литературе – Channel Associated Signaling (CAS). Второе слово подчеркивает ассоциативность ВСК и разговорного канала. Например, каждый номинал частоты или номер бита в шестнадцатом канальном интервале тракта ИКМ-30/32 принадлежит ВСК, предназначенному для обслуживания вызовов, которые устанавливаются по ассоциированному с ним разговорному каналу.

В настоящее время в ТфОП используется сигнализация с одним и с двумя ВСК. В тех случаях, когда транспортная сеть построена на базе ЦСП, обычно применяется сигнализация с двумя ВСК. Для организации ВСК стандартизован алгоритм распределения ресурсов, которые образованы в шестнадцатом канальном интервале тракта ИКМ-30/32.

Передача номера, который набирает вызывающий абонент посредством импульсов и пауз, замедляет процесс установления соединений. Для устранения этого недостатка была введена многочастотная сигнализация. Используемые в ней сигнальные комбинации многочастотного кода состоят из двух синусоидальных сигналов. Передаваемые сигналы используют два разных номинала частот из шести возможных. Соответствующий способ часто называют кодом «2 из 6».

Любой передаваемый сигнал содержит одно и то же количество частот, что улучшает помехоустойчивость кода. Возможное количество кодовых комбинаций в многочастотных кодах такого типа определяется количеством сочетаний. Для кода «2 из 6» оно вычисляется так:

$$C_6^2 = \frac{6!}{2! \times (6-2)!} = 15. \quad (4.1)$$

Для шести используемых частот установлены следующие значения: $f_0=700$ Гц, $f_1=900$ Гц, $f_2=1100$ Гц, $f_4=1300$ Гц, $f_7=1500$ Гц и $f_{11}=1700$ Гц. Индексы в названиях частот подобраны так, что их сумма в каждой комбинации определяет ту цифру, которая была передана. Исключение составляет только цифра «0».

Метод обмена двухчастотными комбинациями известен как «импульсный челнок». Такое название обусловлено схожестью метода с прямыми и обратными движениями ткацкого челнока. Обмен так называемой регистровой информацией между координатными станциями происходит следующим образом:

- регистр подключается к маркеру и сообщает о своей готовности передать информацию;
- маркер посылает сигнал запроса, а в ответ на него регистр передает некоторую часть информации;
- затем от маркера вновь поступает сигнал запроса (или сигнал подтверждения приема), в ответ на который регистр передает следующую порцию информации;
- передав всю информацию, регистр освобождается.

При таком способе передачи информации повышается ее достоверность. С другой стороны, возрастает время обмена сигнальной информацией. Если необходимо передавать накопленную информацию с более высокой скоростью, применяется метод «импульсный пакет». Он нашел применение для связи местных коммутационных станций с АМТС. Накопленные кодовые комбинации передаются подряд одна за другой с интервалами, которые необходимы для устойчивого приема информации.

Для реализации процедуры автоматического определения номера (АОН) вызывающего абонента был выбран метод передачи с еще более высокой скоростью. Он получил название «безынтервальный импульсный пакет». Разделение кодовых комбинаций на приемной стороне основано на обнаружении изменения составляющих их частот. Если в передаваемой последовательности кодовых комбинаций две или несколько комбинаций подряд одинаковы, то все четные одинаковые комбинации заменяются сигналом «Повторение». Например, требуется передать номер 5543333. Вместо второй из двух идущих подряд «пятерок», как и вместо второй и четвертой из четырех идущих подряд «троек», будет передан сигнал «Повторение». Обозначим его буквой «п». Тогда номер 5543333 будет передан как 5п43п3п.

Стандартизация систем сигнализации – одно из важнейших направлений в деятельности ИТУ. Для телефонной связи ИТУ-Т разработал несколько спецификаций систем сигнализации, первая из которых появилась в 1934 году. Каждая следующая спецификация учитывала новые требования ТфОП и новые возможности исполь-

зуемых технических средств. К сожалению, много лет назад Администрация связи СССР приняла решение о создании и применении собственной системы сигнализации. В ней используются решения, заимствованные из спецификаций сразу двух региональных систем сигнализации, принятых ИТУ-T: R1 и R2. На профессиональном сленге спецификация отечественной системы сигнализации именуется «R-полтора», а пишется так: R1.5.

Появление коммутационных станций с программным управлением стимулировало разработку качественно новой системы сигнализации. Это было обусловлено рядом причин, среди которых целесообразно назвать следующие:

- высокая стоимость оборудования сигнализации и низкий коэффициент полезного действия линейных комплектов;
- существенное время работы основных устройств передачи и приема информации;
- ограниченный состав сигналов, которыми могут обмениваться коммутационные станции.

Низкий коэффициент полезного действия линейных комплектов объясняется тем, что они действуют только на этапах установления и завершения соединения. Суммарное среднее время этих этапов $t_x^{(1)}$ существенно меньше, чем математическое ожидание продолжительности разговора $t_y^{(1)}$. Очевидно, что коэффициент полезного действия линейных комплектов η определяется следующим образом:

$$\eta = \frac{t_x^{(1)}}{t_x^{(1)} + t_y^{(1)}}. \quad (4.2)$$

Обычно величина η не превышает 10%. Это очень низкий коэффициент полезного действия для технической системы.

При использовании рассмотренных систем сигнализации время, необходимое для управления соединением, в ряде случаев заметно возрастало. Особенно существенны были задержки в обслуживании международных вызовов, а также при заказе услуг некоторых видов. Такая ситуация вела к снижению качества обслуживания вызовов.

Новые виды услуг, а также стремление использовать ресурсы системы сигнализации для решения задач, касающихся, например, технической эксплуатации, требовали расширения состава передаваемых сигналов. Соотношение (4.1) показывает, что возможности введения новых сигналов ограничены. Введение новых номиналов передаваемых частот лишь на время решает возникающие задачи, а техническая реализация подобных решений – дорогостоящая и сложная процедура.

Учитывая подобные соображения, ИТУ-Т разработал спецификацию принципиально новой системы сигнализации. Она основана на использовании общего канала сигнализации (ОКС). Применение ОКС позволяет полностью удалить все элементы системы сигнализации из разговорного канала.

4.3. Общий канал сигнализации

Сначала была разработана спецификация, получившая название системы сигнализации №6. Она предназначалась для сетей международной и междугородной связи. В качестве ОКС могли использоваться аналоговые и цифровые каналы. Вскоре выяснилось, что системе сигнализации №6 свойственны некоторые существенные недостатки. С другой стороны, стало очевидным, что сама идея сигнализации по ОКС – очень привлекательна.

Спецификация системы сигнализации №6 была утверждена в 1968 году. Через пять лет ИТУ-Т принял решение о разработке новой системы общеканальной сигнализации, отвечающей перспективным требованиям как ТфОП (причем, на всех уровнях ее иерархии), так и других сетей электросвязи. Эта система сигнализации стала одной из самых удачных разработок ИТУ-Т. Ее спецификация известна как система сигнализации №7. Далее, используя аббревиатуру «ОКС», мы будем подразумевать общий канал сигнализации, соответствующий спецификации ИТУ-Т для системы №7 (ОКС7).

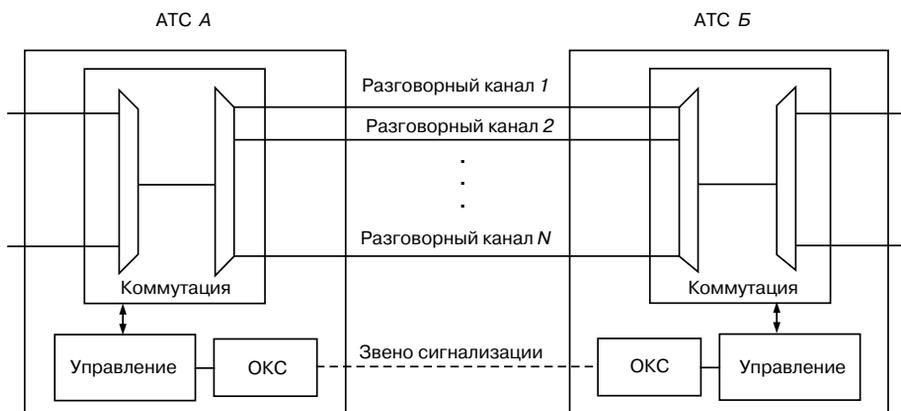


Рис. 4.3. Сигнализация по общему каналу

В квазиэлектронных и цифровых коммутационных станциях функции управления – вне зависимости от их архитектуры – возлагались на аппаратно-программные средства, которые можно рассматривать как специализированную ЭВМ (электронная вычислительная машина) или высокопроизводительный компьютер.

Для эффективного взаимодействия коммутационных станций необходимо прямое общение тех компьютеров, которые выполняют функции систем управления. Это общение обеспечивает пучок сигнальных звеньев. Под сигнальным звеном понимается пара противоположно направленных ОКС, непосредственно связывающих две коммутационные станции и обеспечивающих двухсторонний обмен сигнальной информацией между ними.

Общие принципы общеканальной сигнализации показаны на рис. 4.3. Оборудование одного ОКС используется для пучка СЛ, состоящего из N разговорных каналов. Это обстоятельство позволяет рассматривать канал сигнализации как общий.

Принципы выделения функциональных уровней в модели системы общеканальной сигнализации имеют ряд специфических особенностей. Следствием этого стало ее отличие от известной модели ISO, которая содержит семь уровней. На рис. 4.4 показана модель системы общеканальной сигнализации и обозначены ее отличия от аналогичной структуры, принятой международной организацией по стандартизации. Эта структура, содержащая семь уровней, хорошо известна по аббревиатуре OSI – модель взаимодействия открытых систем.

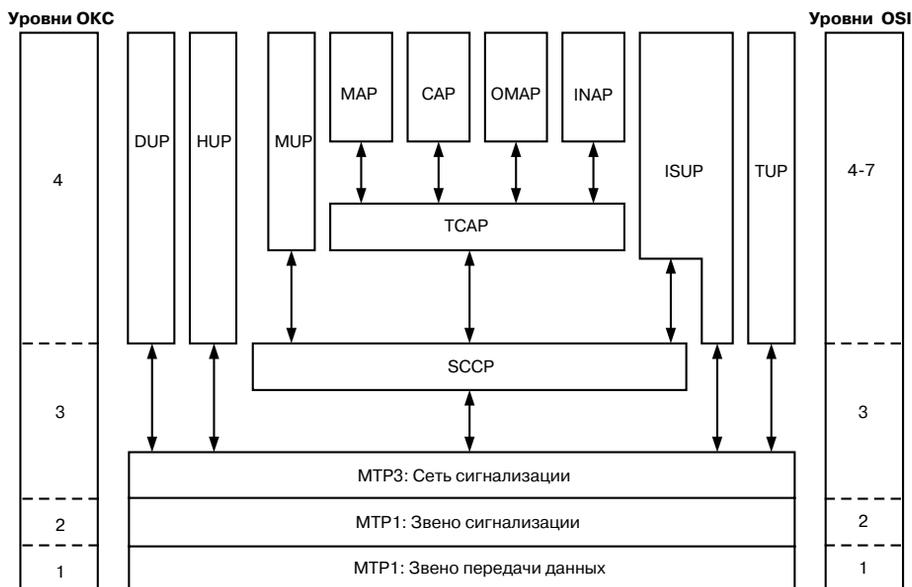


Рис. 4.4. Модель системы общеканальной сигнализации

Три нижних уровня системы ОКС образует подсистема переноса сообщений MTP (Message Transfer Part). Функциональные возможности этих уровней MTP были достаточны для обслуживания сигнальной нагрузки трех ранее существовавших подсистем-пользователей:

- сети передачи данных – DUP (Data User Part);
- процедуры хэндовера – HUP (Handover User Part);
- телефонной сети – TUP (Telephone User Part).

Подсистемы DUP и TUP в российской сети связи не использовались. Информация о процедуре хэндовера приведена в лекциях, посвященных сетям подвижной связи. Там же упоминаются подсистемы HUP и MUP, ориентированные на аналоговый стандарт подвижной связи NMT-450. В настоящее время поддержка всех этих подсистем перестала быть актуальной.

Подсистема управления сигнальными соединениями SCCP (Signalling connection control part) дополняет функции MTP3 до уровня 3 модели OSI и необходима для работы следующих подсистем-пользователей:

- подвижной связи стандарта NMT-450 – MUP (Mobile User Part);
- цифровой сети интегрального обслуживания – ISUP (ISDN User Part).

Функциональные возможности SCCP используются также прикладной подсистемой поддержки транзакций TCAP (Transaction capabilities application part). Подсистема TCAP, в свою очередь, необходима для функционирования следующих прикладных подсистем:

- мобильной связи стандарта GSM – MAP (Mobile Application Part);
- эксплуатационного управления – OMAP (Operations, Maintenance and Administration Part);
- Интеллектуальной сети – INAP (Intelligent Network Application Protocol);
- протокола CAMEL – CAP (CAMEL Application Protocol).

Информация для ее последующей передачи формируется в виде сигнальных сообщений определенного формата. Для передачи по ОКС сообщение преобразуется в сигнальную единицу (SE). Этот процесс можно представить как дополнение сигнального сообщения битами, которые необходимы для достоверной и надежной передачи информации. Структура SE представлена на рис. 4.5.

F	СК	CIF (Поле сигнальной информации)	SIO	/	LI	F I B	FSN	B I B	BCN	F
8	16	8n, n ≥ 2	8	2	6	1	7	1	7	8

F - флаг, СК - проверочная комбинация, SIO - байт служебной информации, "/" - резервные биты, LI - индикатор длины, FIB - бит индикации прямого направления (передача сигнала), FSN - порядковый номер передаваемой СЕ, BIB - бит индикации обратного направления (передача подтверждения), BSN - порядковый номер подтверждаемой СЕ

Рис. 4.5. Формат сигнальной единицы

Сигнальное сообщение (полезная информация) содержится в поле *CIF*. Длина этого поля – переменная величина, кратная байту. По этой причине СЕ также имеет переменную длину, которая кратна байту благодаря структуре остальных полей. Назначение этих полей приведено в монографиях, посвященных общекабельной сигнализации. Их перечень приведен в списке рекомендованной литературы.

4.4. Сеть сигнализации

Коммутационную станцию с программным управлением можно рассматривать как *пункт сигнализации*. В технической литературе обычно используется англоязычное сокращение термина «пункт сигнализации» – SP (Signaling Point). Пункт сигнализации выполняет функции формирования, передачи, приема и интерпретации сигнальных сообщений. Некоторые пункты сигнализации выполняют функции перемещения СЕ из одного звена сигнализации в другое. Они называются транзитными пунктами сигнализации – STP (Signaling Transfer Point). Совокупность SP и STP, а также связывающих их сигнальных звеньев, образует своего рода сеть. Она называется сетью сигнализации.

Любые два SP, между которыми возможен обмен сигнальной информацией, называются *связанными*. Связь двух SP может обеспечиваться либо прямым пучком сигнальных звеньев, либо средствами сети сигнализации с организацией транзита при помощи STP. В первом случае два SP (с точки зрения структуры сети сигнализации) являются *смежными*, во втором – *несмежными*. Наличие в сети сигнализации и смежных, и несмежных SP обусловлено тем, что в ней возможно, в принципе, использование разных режимов функционирования.

В современной сети сигнализации могут применяться три режима работы: *связанный*, *несвязанный* и *квазисвязанный*. Квазисвязанный режим представляет собой частный случай несвязанного режима.

Путь, по которому сигнальная информация проходит через сеть, назначается заранее и является на некоторый период времени фиксированным. На практике сети сигнализации поддерживают связанный и квазисвязанный режимы. В технической литературе название режима работы обычно отождествляют с видом сети сигнализации. Иными словами, различают *связанные* и *квазисвязанные* сети сигнализации.

Примеры организации связанной и квазисвязанной сетей приведены на рис. 4.6. Для обоих вариантов предполагается, что система общеканальной сигнализации создается для телефонной сети, в которой установлены пять коммутационных станций. Все станции связаны между собой по принципу «каждая с каждой». Эту топологию повторяет связанная сеть сигнализации.

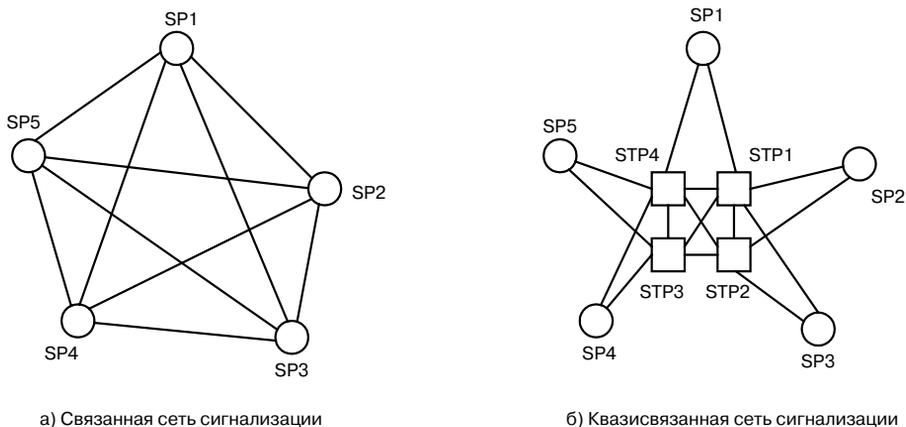


Рис. 4.6. Структуры сети сигнализации

В квазисвязанной сети установлено четыре STP. Они связаны между собой по принципу «каждый с каждым». Любой из пяти SP опирается на два STP. Такое решение обеспечивает высокую надежность сети сигнализации. Помимо высокой надежности сеть сигнализации должна также обеспечивать быстрое прохождение сигнальных сообщений. Это требование обусловлено существенным влиянием задержки сигнальных сообщений на показатели качества обслуживания трафика в ТФОП.

Сеть сигнализации – важный компонент телекоммуникационной системы. Она создается для решения задач, часть которых выходит за рамки проблем системы телефонной связи. Исследованию различных аспектов сети сигнализации посвящены монографии и диссертации. Переход к сетям следующего поколения породил ряд новых интересных задач, касающихся совершенствования системы сигнализации.



Ключевые слова: сигнализация, разговорный канал, сигнальный канал, общий канал сигнализации, сеть сигнализации, связанные и квазисвязанные сети сигнализации.



Контрольные вопросы

1. Какие виды сигнализации выделяют в ТфОП с точки зрения сетевой иерархии?
2. Когда применяется способ передачи сигнальной информации «безынтервальный импульсный пакет»?
3. Сколько кодовых комбинаций можно получить, перейдя к способу «3 из 6»?
4. В каком поле сигнальной единицы содержится полезная информация?
5. В чем преимущества и недостатки системы общеканальной сигнализации?
6. Назовите различия между обычными и транзитными пунктами сигнализации?
7. Каковы преимущества и недостатки связанного и квазисвязанного режимов работы сети сигнализации?



Задачи и упражнения

1. Проанализируйте смысл формулы (4.2) при переходе к системе общеканальной сигнализации.
2. Составьте выражения для оценки капитальных затрат на построение связанной и квазисвязанной сетей сигнализации. Проанализируйте полученные выражения с точки зрения эффективности квазисвязанной сети сигнализации.



Литература к лекции 4

- 4.1. Гольдштейн Б.С. Сигнализация в сетях связи. Том 1. 4-е изд. – М.: Радио и связь, 2005.
- 4.2. Росляков А.В. ОКС №7: архитектура, протоколы, применение. М.: Эко-Трендз, 2008.

Лекция 5

Система и план нумерации

*In aedificiis lapis male positus non est removendus.
(Камень, плохо положенный в стену, уже не вынешь)*

5.1. Некоторые определения

Под *системой нумерации (numbering system)* понимается совокупность правил, позволяющих идентифицировать сети, их фрагменты, а также вызывающих и вызываемых пользователей. В телефонных сетях термин «номер» используется для обозначения той последовательности цифр и символов, которая однозначно определяет место подключения к сети терминала, УАТС, ЦОВ и других устройств.

Следующее важное понятие – «*план нумерации*» (*numbering plan*). Он определяет формат и структуру номера, который должен набрать вызывающий абонент для установления требуемого соединения. Десятичные цифры (и символы), определяемые планом нумерации, обычно сегментированы в группы, которые позволяют выделять информацию, относящуюся к стране, к сети и к терминалу абонента, оператора УАТС или ЦОВ. План нумерации не включает в себя префиксы и другую дополнительную информацию, необходимую для установления соединения. Префиксы и дополнительная информация определяются *правилами набора номера (dialling plan)*. Например, абонент УАТС собирается позвонить в компанию по номеру, который известен из рекламы. Допустим, что номер

вызываемого абонента состоит из семи цифр – 2345678. Эти цифры установлены в соответствии с планом нумерации той местной сети, в которую включена УАТС. План набора номера будет таким:

- сначала абонент УАТС набирает префикс выхода в местную телефонную сеть, в качестве которого рекомендуется использовать цифру «9»;
- затем необходимо набрать семь цифр (2345678), которых может оказаться вполне достаточно для установления требуемого соединения;
- в некоторых случаях вызывающий абонент получает речевую подсказку, в которой, например, содержится предложение перейти в режим многочастотного набора и набрать номер «555» для получения подробных сведений о предлагаемых товарах или услугах.

Префикс выхода с УАТС в местную телефонную сеть, символ «*» для перехода в режим многочастотного набора и цифры «555» в данном случае входят в атрибуты плана набора номера. План нумерации содержит только семь упомянутых цифр – 2345678. Префикс в общем случае состоит из одной или более цифр. Он, в значительной мере, определяет структуру набираемой далее совокупности цифр и символов. Принято выделять префиксы междугородной и международной связи.

В российской ТФОП пока в качестве этих префиксов используют цифра «8» и комбинация «8-10» соответственно.

План нумерации для международной телефонной сети изложен в рекомендациях ITU-T серии E. Основная информация для ТФОП содержится в рекомендации E.164.

Разработка оптимального плана нумерации ТФОП – одна из самых сложных задач, возникающих перед Администрациями связи. Изменение плана нумерации связано с решением ряда организационных, экономических, технических и, в некоторых случаях, психологических задач.

План нумерации в телекоммуникационных сетях и частотный спектр в радиосвязи имеют ряд схожих черт. И то, и другое представляет собой пример применения ограниченных ресурсов. После того как эти ресурсы исчерпаны, необходимо осваивать новые диапазоны (нумерации и спектра соответственно). Этот процесс требует больших инвестиций и, как правило, сопряжен с изменениями в эксплуатируемом оборудовании.

Основные особенности плана нумерации, используемого в российской ТФОП, были определены Администрацией связи СССР. Администрации связи большинства развитых стран стремились разрабатывать план нумерации, рассчитанный на несколько деся-

тилетий. Некоторые Администрации даже декларировали период действия системы нумерации от 50 до 100 лет. Развитие электросвязи привело к тому, что за последние годы планы нумерации во многих странах претерпели заметные изменения. Аналогичные процессы характерны и для российской ТФОП.

5.2. Действующий план нумерации ЕСЭ РФ

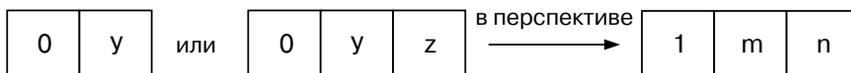
План нумерации, используемый в отечественной ТФОП, определяется рядом руководящих документов, принятых Администрацией связи России. Основным из этих документов считается «Система и план нумерации на сетях связи 7-й зоны всемирной нумерации». Этот руководящий документ утвержден в 1999 году. В названии фигурируют слова «7-я зона всемирной нумерации». Это связано с тем, что ИТУ-Т выделил цифру «7» в качестве международного кода для связи с телефонной сетью бывшего СССР. В настоящее время цифра «7» используется для входящей международной связи с ТФОП России и республики Казахстан. Примеры номеров, используемых в ЕСЭ РФ, приведены на рис. 5.1.

A	B	C	a	b	x	x	x	x	x
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

а) Национальный номер абонента в российской ТФОП

D	E	F	d	e	x	x	x	x	x
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

б) Номер абонента для негеографического плана нумерации



в) Нумерация для выхода к экстренным и информационно-справочным службам

Рис. 5.1. Примеры действующего плана нумерации в ЕСЭ РФ

ТФОП в России делится на зональные сети, каждой из которых выделяется код *ABC* (код автоматической междугородной связи). В качестве значений буквы *A* не могут использоваться цифры «1», «2» и «0»¹; на значения *B* и *C* ограничения не накладываются.

Национальный номер абонента российской ТФОП состоит из десяти цифр – фрагмент (а) на рис. 5.1. Обычно его обозначают

¹ В настоящее время для российских зональных сетей используются коды *ABC*, начинающиеся с цифр 3, 4 и 8.

следующим образом: $ABCabxxxx$. Код ABC «привязан» к территории субъекта Федерации. По этой причине его иногда называют географическим кодом нумерации. Большинству субъектов Федерации выделен один код ABC . В новых официальных документах Администрации связи России, которые касаются изменений плана нумерации в ТфОП, код ABC относится к географически определяемой зоне нумерации.

Номер $abxxxx$ называется полным местным номером абонента. Он всегда состоит из семи цифр при междугородной и международной связи. При местной телефонной связи может также использоваться пяти- или шестизначный план нумерации. В этом случае при входящей междугородной и международной связи отсутствующие в номере цифры a или ab должны заменяться цифрами «2» или «22», соответственно.

В местных телефонных сетях используются два вида системы нумерации: закрытая и открытая. При закрытой системе нумерации в пределах местной сети (за исключением выхода к экстренным и информационно-справочным службам) всегда набирается одно и то же число цифр. В ГТС всегда используется закрытая система нумерации. Открытая система нумерации применяется в СТС. Существуют два варианта открытой нумерации – с индексом выхода и без индекса выхода. Индекс выхода позволяет отличить соединение в пределах АТС от соединения, устанавливаемого с другой станцией.

С этой точки зрения правила обслуживания вызова схожи с алгоритмом, принятым для УАТС. В системе без индекса выхода различие между вызовами определяется путем анализа набираемых цифр. В табл. 5.1 приведены примеры нумерации при установлении соединений разных видов. Предполагается, что для СТС используется закрытая пятизначная система нумерации. План нумерации ГТС – семизначный. В качестве примера нумерации при использовании УСС в этой и в двух следующих таблицах приведены цифры, набираемые для связи с оператором Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС).

Таблица 5.1. Цифры, набираемые при закрытой пятизначной системе нумерации в СТС

Местонахождение вызывающего абонента	Нумерация при вызове абонента или оператора			
	ГТС своей зононой сети	СТС своей зононой сети	ГТС или СТС другой зононой сети	УСС (МЧС)
РАТС в ГТС	$abxxxx$	$8 - 2 - abxxxx$	$8 - ABCabxxxx$	01
ОС в СТС	$8 - 2 - abxxxx$	$xxxxx^{a)}$	$8 - ABCabxxxx$	01
УАТС в ГТС	$9 - abxxxx$	$9 - 8 - 2 - abxxxx^{б)}$	$9 - 8 - ABCabxxxx^{б)}$	$9 - 01^{б)}$

Примечания:

- а) предполагается, что вызываемый абонент включен в одну из коммутационных станций этой же СТС;
- б) префикс «9» может не набираться, если такое решение реализуемо в используемой УАТС.

Электромеханические АТС некоторых типов, имеющиеся в сельских телефонных сетях, поддерживают только открытые системы нумерации – с индексом выхода и без него.

В таких случаях используются специфические планы нумерации. Примеры открытой системы нумерации без индекса (префикса) выхода приведены в табл. 5.2.

Входящая связь от абонентов других зональных сетей не имеет специфики (всегда набирается комбинация 8 – *ABCabxxxx*). Поэтому нумерация для входящей связи в табл. 5.2 не приводится.

Для внутростанционной связи вызывающий абонент набирает три цифры, а для межстанционной – пять. Абоненты ЦС для местной связи всегда набирают пять цифр, то есть используют закрытую систему нумерации. В качестве «х» может использоваться любая цифра.

Таблица 5.2. Цифры, набираемые при открытой системе нумерации без индекса выхода

Станция вызывающего абонента	Нумерация при вызове абонента или оператора		
	своей станции	ЦС или других станций СТС	УСС (МЧС)
ЦС всех типов	<i>sxxx</i> ^{a)}	<i>sxxx</i>	01
УС всех типов	<i>dx</i> ^{б)}	<i>sxxx</i>	01
ОС всех типов	<i>dx</i>	<i>sxxx</i>	01

Примечания:

- а) в качестве значения *s* не должны использоваться цифры, с которых начинаются сокращенные номера (то есть *s* ≠ *d*);
- б) значения *s* и *d* не должны совпадать с цифрами «8» и «0».

Примеры открытой системы нумерации с индексом (префиксом) выхода приведены в табл. 5.3. Префикс выхода обозначен символом Π_M . Для внутростанционной связи вызывающий абонент набирает две или три цифры, а для межстанционной – пять (после индекса выхода).

Абоненты ЦС для местной связи всегда набирают пять цифр, то есть используют закрытую систему нумерации. В качестве *x* может использоваться любая цифра.

Таблица 5.3. Цифры, набираемые при открытой системе нумерации с индексом выхода

Станция вызывающего абонента	Нумерация при вызове абонента или оператора-телефониста		
	своей станции	ЦС или других станций СТС ^{в)}	УСС (МЧС)
ЦС всех типов	xxxxx	xxxxx	01
УС всех типов	xx, xxx или dxx	$\Pi_M - \text{xxxxx}$	$\Pi_M - 01$
ОС первого типа ^{а)}	xx, или xxx	$\Pi_M - \text{xxxxx}$	$\Pi_M - 01$
ОС второго типа ^{б)}	dxx	$\Pi_M - \text{xxxxx}$	$\Pi_M - 01$

Примечания:

- а) к ОС первого типа относятся сельские станции всех типов, за исключением АТСК-50/200М, АТСК-100/2000, и все АТС с программным управлением;
- б) к ОС второго типа относятся АТСК-50/200М, АТСК-100/2000 и все АТС с программным управлением;
- в) в качестве первого знака сокращенного номера не должна использоваться цифра, выделенная для индекса Π_M .

В конце XX века началось интенсивное развитие сотовых сетей и формирование платежеспособного спроса на некоторые услуги, поддерживаемые Интеллектуальной сетью (IN – Intelligent Network). Это стимулировало введение негеографических кодов, которые принято обозначать латинскими буквами DEF. Этим подчеркивается их отличие от кодов ABC, определяемых с учетом географического положения субъекта Федерации. В остальном структуры десятизначных номеров схожи – фрагменты (а) и (б) на рис. 5.1. Коды DEF присваиваются географически не определяемым зонам нумерации.

Каждый код DEF, выделенный Оператору сотовой сети, позволяет – теоретически – пронумеровать восемь миллионов пользователей. Существенно то, что эта емкость может распределяться по всей территории, границы которой определены лицензией, выданной Оператору. В настоящее время в качестве значения символа D для сетей сотовой связи обычно используется цифра «9».

Для услуг IN и некоторых других приложений негеографический код DEF несет информацию, определяющую характер обслуживания вызова. Семь цифр, следующих за кодом DEF, интерпретируются как логический номер, который обычно никак не связан с местом включения в ТФОП какого-либо терминала. Все УАТС, подключаемые к коммутационным станциям ГТС или СТС, должны использовать план нумерации, принятый для соответствующей местной сети. В пределах УАТС может использоваться сокращенная нумерация. Для выхода абонентов УАТС в местную сеть рекомендуется использовать префикс «9».

Для выхода абонентов ГТС и СТС к экстренным службам пока используются двухзначные номера (01 – при пожаре, 02 – милиция, 03 – скорая медицинская помощь, 04 – аварийная служба газовой сети). На фрагменте (в) рис. 5.1 эти номера обозначены символами 0у. Доступ к информационно-справочным службам обычно организуется за счет набора трехзначных номеров вида 0уз.

В европейских странах для выхода к экстренным и к информационно-справочным службам принят план нумерации вида 1мл – правая часть фрагмента (в) на рис. 5.1. «Службе спасения» во всей Европе присвоен единый номер – «112». В конце 2003 года было принято решение о создании российской «Службы спасения». Ей тоже присвоен общеевропейский номер «112».

5.3. Особенности нумерации в российской телефонной сети

В первой лекции была упомянута практика нарушения общепринятых норм при построении ТфОП. Эти нормы не определяются никакими международными стандартами. Они сформировались в результате анализа эволюционных процессов, характерных для ТфОП. При разработке системы и плана нумерации российской ТфОП был допущен ряд ошибок. Некоторые ошибки рассматриваются в этом разделе. В первую очередь, целесообразно рассмотреть различие планов нумерации в России и в других странах Европы. Они перечислены в табл. 5.4. Следует подчеркнуть, что в ближайшие годы предполагается привести план нумерации российской ТфОП в полное соответствие с европейскими нормами.

Таблица 5.4. Различия планов нумерации российской и европейской ТфОП

Набираемые комбинации цифр	в России	в Европе
Префикс выхода в междугородную сеть	8	0
Префикс выхода в международную сеть	8–10	0–0
Первая цифра доступа к экстренным службам	0	1

Очевидно, что по трем перечисленным позициям принципы нумерации различны. На самом деле различия более существенны, так как аспекты нумерации тесно связаны с принципами установления соединений в ТфОП. Общепринятый подход предусматривает накопление всех набираемых цифр в РАТС – рис. 5.2. После анализа этих цифр РАТС выбирает оптимальный маршрут для установления соединения. РАТС в российской ТфОП – после набора префикса выхода в междугородную телефонную сеть – не участвует в выборе маршрута для установления соединения.

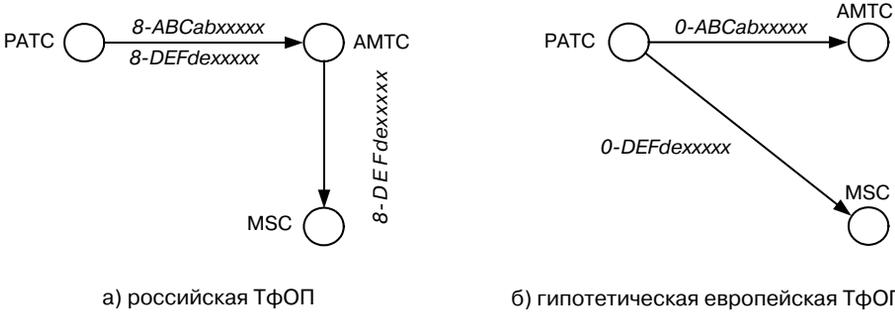


Рис. 5.2. План нумерации и маршрутизация вызовов

При установлении соединения через центр коммутации мобильной связи (MSC – Mobile Switching Center) с использованием номера вида 8 – DEFdxxxxx маршрутизация вызовов в российской и в гипотетической европейской ТФОП осуществляется по-разному.

В отечественной ТФОП после набора префикса «8» проключается тракт до АМТС. Далее именно междугородная станция выполняет функции маршрутизации.

В гипотетической европейской ТФОП номер DEFdxxxxx анализируется в PATC. Далее соединение может быть установлено по прямому пучку СЛ между PATC и MSC.

С рассматриваемым примером связана еще одна особенность российской ТФОП, обусловленная отступлением от международных норм. Речь идет о выборе Оператора дальней (междугородной и/или международной) связи.

При анализе всех цифр набранного номера в PATC реализация функций выбора Оператора упрощается. Обычно с этой целью используются категории окончных устройств.

В российской ТФОП, в силу принятых ранее решений об обслуживании вызовов, начинающихся с цифры «8», такой подход реализовать очень сложно. На начальном этапе введения функций, касающихся выбора Оператора дальней связи, используется дополнительный префикс, который набирается после цифры «8».

Как правило, отступления от международных норм ведут к росту затрат Оператора, которые связаны с реконструкцией ТФОП, необходимой для поддержки новых видов обслуживания.

5.4. Перспективный план нумерации для ЕСЭ РФ

Перспективный план нумерации разрабатывался для ТФОП с учетом всех новых требований, связанных с услугами телефонной связи. Основные причины изменений в плане нумерации российской ТФОП можно свести к следующим:

- интеграция с европейской и мировой инфокоммуникационной системами подразумевает внесение некоторых изменений в план нумерации;
- рост емкости некоторых ГТС стимулирует увеличение числа цифр, которые образуют местный номер, что порождает ряд проблем для крупных сетей;
- активное развитие сетей мобильной связи требует выделения значительного ресурса номерной емкости ТФОП;
- необходимость предоставления абоненту возможности выбора Оператора при установлении междугородных и международных соединений;
- либерализация инфокоммуникационного рынка тоже требует выделения новым Операторам ресурса номерной емкости ТФОП;
- предоставление услуг некоторых видов ориентировано на негеографические коды, которые ранее не предусматривались;
- интеграционные процессы в электросвязи стимулировали разработку концепции, известной по аббревиатуре *ENUM (tElephone NUmber Mapping)*².

Специальная комиссия Европейского сообщества разработала перспективный план нумерации, который учитывает требования, характерные для инфокоммуникационной системы в начале XXI века. Из этих требований следует выделить особенности, существенные для развития плана нумерации в российской ТФОП. Они были перечислены в табл. 5.4.

Одна из важных особенностей перспективного плана нумерации заключается в том, что в нем учтены потребности в нумерации так называемых *глобальных услуг (Global Services)*. Это новое понятие введено для тех видов обслуживания, которые, как правило, не связаны с географическим местонахождением абонента или ЦОВ.

Характерный пример глобальной услуги – мобильная спутниковая связь. Все существующие сети мобильной связи обеспечивают обслуживание на сравнительно небольшой части поверхности земного шара. Они не предназначены для связи в морях и океанах (как и на некоторых крупных реках), а также на воздушных судах. Система мобильной спутниковой связи свободна от этих недостатков.

² Концепция ENUM рассматривается в лекции 25.

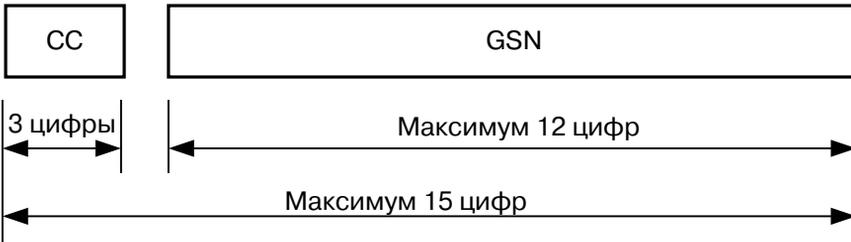
В перспективном плане нумерации учтена потребность в расширении емкости ТфОП, которая свойственна ряду стран. Проблема решается за счет увеличения числа цифр в полном (международном) номере абонента. Основные особенности перспективного плана нумерации иллюстрируются на рис. 5.3. Его верхний фрагмент отображает структуру международного номера для географических зон.

Международный номер для географических зон



CC - код страны для географических зон ($N=1, 2$ или 3),
 NDC - национальный код зоны, SN-номер абонента

Международный номер для глобальных услуг



CC - код страны для глобальных услуг,
 GSN - глобальный абонентский номер

Рис. 5.3. Примеры перспективного плана нумерации для ТфОП

Для России выделена одна цифра кода страны – семерка. Это означает, что длина национального номера может достигать четырнадцати цифр. Напомним, что ранее длина этого номера составляла десять цифр.

Национальный код зоны (NDC) определяется тремя цифрами. Следовательно, местный номер абонента может содержать до одиннадцати цифр.

Допустим, что семи цифр для местного номера в российской ТФОП достаточно (именно столько знаков используется в крупных ГТС). Тогда для выбора Оператора дальней связи можно использовать до четырех цифр.

Нижний фрагмент рис. 5.3 иллюстрирует структуру международного номера для глобальных услуг. Код страны в данном случае всегда состоит из трех цифр. Это означает, что максимальная длина глобального абонентского номера (GSN) составляет двенадцать цифр.

Функциональные возможности перспективного плана нумерации в полной мере можно реализовать только в цифровой ТФОП. Тем не менее некоторые новые услуги ТФОП могут быть введены и до завершения процесса ее цифровизации.



Ключевые слова: номер, система нумерации, план нумерации, 7-я зона всемирной нумерации, префикс, рекомендация ITU-T E.164, код зоны нумерации *ABC*, негеографический код *DEF*, Интеллектуальная сеть *IN*, национальный код зоны *NDC*, глобальный абонентский номер *GSN*.



Контрольные вопросы

1. В чем различие между системой и планом нумерации?
2. Сколько кодов *ab* для идентификации установленных РТС можно использовать в ГТС с семизначным планом нумерации?
3. Какой префикс рекомендован для абонентов УАТС с целью выхода в местную сеть?

4. Какой префикс будет использован в будущем для выхода к АМТС?
5. Как изменится количество номеров для разных услуг при переходе к их нумерации вида *1mn*?
6. В чем заключается различие между кодами *ABC* и *DEF*?
7. Сколько абонентов может быть идентифицировано при использовании максимальной длины глобального абонентского номера GSN?



Задачи и упражнения

1. Подсчитайте максимальное количество телефонных терминалов, которое может обслуживать российская ТФОП без изменения системы нумерации. Может ли быть реально достигнуто это число?
2. Оцените максимальное количество номеров, которые могут быть выделены для глобальной услуги, если в поле GSN (рис. 5.3) две первые цифры используются как служебные.



Литература к лекции 5

- 5.1. Мардер Н.С. Нумерация телефонной сети общего пользования Российской Федерации. – М.: ИРИАС, 2002.
- 5.2. Соколов Н.А. Телекоммуникационные сети. – М.: Альварес Пабблишинг, 2004 (<http://nicksokolov.narod.ru/lib/html>).

Лекция 6

Средства поддержки услуг

Sine pennis volare haud.
(Без перьев летать нелегко)

6.1. Принципы интегрального обслуживания

Для концепции интегрального обслуживания, с точки зрения поддержки услуг, существенны следующие моменты:

- обмен сигнальной информацией производится по специальному каналу, что позволяет эффективно вводить новые сообщения, необходимые для поддержки услуг разных видов;
- цифровой поток доводится до терминального оборудования, что улучшает качество передачи информации и повышает (по сравнению с ресурсами канала ТЧ) пропускную способность сети доступа;
- каждый пользователь имеет возможность подключать к своей линии оконечное оборудование нескольких разных видов, что позволяет выйти за рамки услуг, предоставляемых средствами телефонной сети.

Во многих публикациях 80-х годов XX века идея ISDN рассматривалась как основной путь развития цифровой телефонии. Теперь, когда ситуация изменилась, некоторые специалисты стали рассматривать ISDN как ошибочную стратегию развития цифровых телефонных сетей. Вряд ли это верно.

ISDN нашла свою нишу, хотя и более скромную, чем ожидалось ранее. Коммерческая эксплуатация оборудования интегрального

обслуживания позволила накопить полезный опыт и Операторам ТФОП, и пользователям. Наконец, ряд исследований, выполненных для ISDN, был востребован для других технологий.

В частности, разработанные для ISDN технологии передачи цифрового потока по двухпроводной цепи нашли применение в оборудовании семейства xDSL. Эта аббревиатура используется для группы технологий, позволяющих организовать цифровую абонентскую линию (Digital Subscriber Line).

Вид конкретной технологии обозначает символ «х». Строго говоря, ISDN нельзя считать самостоятельной коммутируемой сетью. Слово «сеть» в англоязычной технической литературе иногда используется несколько в ином смысле, чем в отечественных публикациях. Чаще оно подчеркивает некие новые функциональные возможности. ISDN можно рассматривать как фазу развития цифровой ТФОП, на которой пользователям доступны дополнительные услуги новых видов. С этой целью модернизируются сеть доступа, а также аппаратно-программные средства в составе цифровых коммутационных станций. Значительные изменения произошли в системе общеканальной сигнализации: на смену протоколу TUP, например, пришел ISUP, о чем уже говорилось в четвертой лекции.

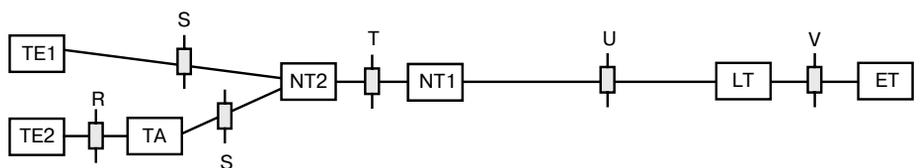
Цифровые каналы, используемые в ISDN, можно разделить на две основные группы. В первую группу входят *D*-каналы, предназначенные, в основном, для обмена информацией, которая связана с работой системы сигнализации. Такой подход позволяет «освободить» информационные каналы от функций обмена служебной информацией. Для *D*-каналов стандартизованы две скорости обмена данными: 16 кбит/с и 64 кбит/с.

Во вторую группу входят *B*-каналы и *H*-каналы, предназначенные исключительно для обмена полезной информацией. Скорость передачи информации по *B*-каналу всегда равна 64 кбит/с. Пользователю предоставляется возможность использования нескольких *B*-каналов. Такая возможность обозначает так: $N \times 64$ кбит/с. Обычно $2 \leq N \leq 30$. Пропускная способность *H*-каналов представима следующим образом:

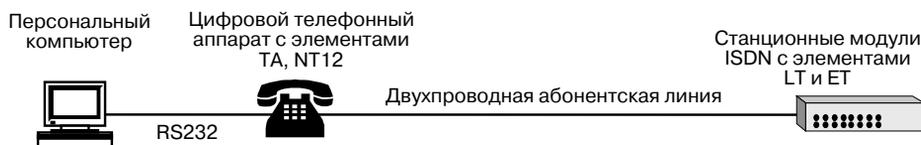
- H_0 – 384 кбит/с (что эквивалентно пропускной способности шести *B*-каналов);
- H_{10} – 1472 кбит/с (что эквивалентно пропускной способности двадцати трех *B*-каналов);
- H_{11} – 1536 кбит/с (что эквивалентно пропускной способности двадцати четырех *B*-каналов);
- H_{12} – 1920 кбит/с (что эквивалентно пропускной способности тридцати *B*-каналов).

Канал H_{10} стандартизован североамериканской организацией ANSI. Он не включен в перечень каналов ISDN, определенный рекомендациями ITU-T. Канал H_{11} в ЕСЭ РФ не используется.

Для объяснения концепции ISDN обычно используется модель, в которой принято выделять функциональные элементы и эталонные точки – интерфейсы. Подобная модель показана в верхней части рис. 6.1. В нижней части этой же иллюстрации приведен пример реализации доступа ISDN.



а) Функциональные элементы ISDN



б) Абонентское и станционное оборудование ISDN

Рис. 6.1. Функциональные элементы и эталонные точки ISDN

Функциональный элемент $TE1$ (*Terminal Equipment*) соответствует оборудованию, которое отвечает всем требованиям ISDN. Для этого оборудования стандартизован четырехпроводный интерфейс S . Пользователь ISDN имеет возможность подключения терминального оборудования $TE2$, которое не является стандартным с точки зрения рекомендаций, разработанных для ISDN. Для подобного оборудования определен ряд интерфейсов R . Для конвертирования параметров этого интерфейса, включая протоколы сигнализации, устанавливается функциональный элемент TA (*Terminal Adapter*). На выходе терминального адаптера формируется интерфейс S . Для объединения терминального оборудования на стороне пользователя необходим функциональный элемент $NT2$ (*Network Termination*). Он, при необходимости, выполняет функции мультиплексирования и/или концентратора. На выходе $NT2$ формируется четырехпроводный интерфейс T . В ряде случаев функциональный элемент $NT2$ отсутствует. Тогда говорят об интерфейсе S/T .

Функциональный элемент NT1 служит для организации обмена информацией с коммутационной станцией. Часто для обмена информацией используется двухпроводная абонентская линия. Тогда задача сводится к созданию дуплексного тракта по двухпроводной физической цепи.

Существует несколько вариантов реализации такого обмена и, соответственно, ряд спецификаций интерфейса U . Иногда функциональные элементы NT2 и NT1 объединяются в единый модуль NT12. В коммутационной станции устанавливается функциональный элемент LT (*Line Termination*). Функции LT и NT1 очень схожи. Между функциональными элементами LT и ET (*Exchange Termination*) размещается эталонная точка V .

При реализации оборудования ISDN функциональные элементы обычно входят в состав терминалов и плат коммутационной станции. В нижней части рис. 6.1 показан один из возможных вариантов построения ISDN. В состав цифрового телефонного аппарата входят сетевое окончание NT12 и терминальный адаптер TA. В этом адаптере в качестве интерфейса R используется стык $RS232$, что позволяет подключить к TA персональный компьютер, используя стандартный кабель. Станционные модули ISDN обычно размещаются в едином блоке, объединяющем функциональные элементы LT и ET . Важная особенность ISDN – поддержка широкого спектра услуг при помощи ограниченного набора интерфейсов «пользователь-сеть». Этими интерфейсами в ISDN служат эталонные точки T или S/T .

ITU-T (а впоследствии и ETSI) специфицировал для ISDN только два интерфейса «пользователь-сеть». Первый интерфейс в рекомендациях ITU-T назван Basic Rate Interface (BRI).

В отечественной технической литературе чаще других используется такой перевод: «интерфейс базового доступа ISDN». Реже встречаются другие трактовки – интерфейс базового уровня и интерфейс на базовой скорости. Обычно этот интерфейс обозначают в такой форме: $2B+D$. Это означает, что организуются два B -канала и один D -канал.

Пропускная способность D -канала – 16 кбит/с.

Второй интерфейс в рекомендациях ITU-T назван Primary Rate Interface (PRI). Это словосочетание обычно переводится как доступ ISDN на первичной скорости.

Для ЕСЭ РФ этот интерфейс обозначается так: $30B+D$. Для доступа на первичной скорости пропускная способность D -канала составляет 64 кбит/с.

Примеры услуг, доступных пользователям ISDN, рассматриваются в следующей лекции.

6.2. Концепция Интеллектуальной сети

Стимулом для разработки концепции Интеллектуальной сети (далее используется аббревиатура *IN*, введенная в предыдущей лекции) стал коммерческий успех услуги, предусматривающей оплату соединения вызываемым абонентом. Эта услуга в англоязычной технической литературе известна как *Freephone*.

В других публикациях чаще встречается термин «Услуга 800». Такое название связано с тем, что после префикса выхода на АМТС абонент набирает трехзначный код DEF «800».

Семизначный номер, который следует за кодом DEF, называют логическим. Он, как правило, не определяет место включения соответствующей абонентской линии. Сеть должна «пересчитать» логический номер в физический на основании заранее заданных правил. Как и ISDN, Интеллектуальную сеть нецелесообразно рассматривать в качестве самостоятельного компонента ЕСЭ РФ. Фактически аппаратно-программные средства Интеллектуальной сети представляют собой некую надстройку над ТФОП. Основное назначение этой надстройки заключается в эффективной поддержке ряда услуг.

Примеры услуг, которые реализованы в Интеллектуальной сети, приведены в следующей лекции. Функциональная модель Интеллектуальной сети приведена на рис. 6.2.

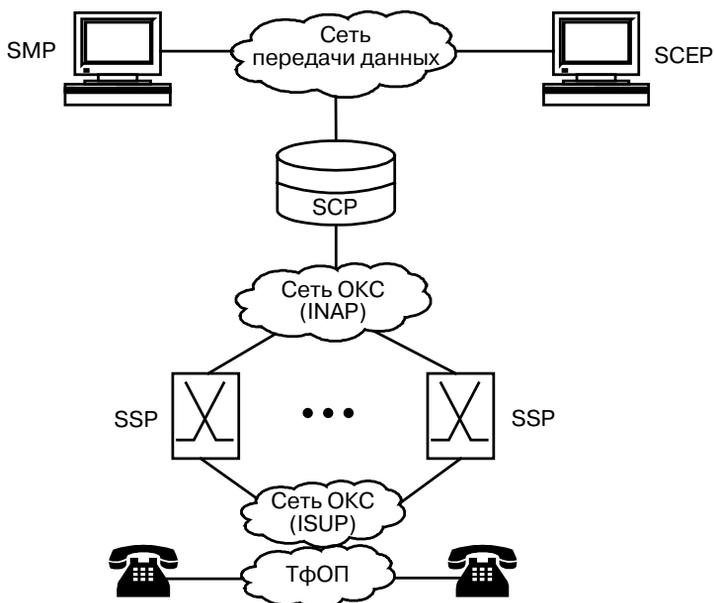


Рис. 6.2. Функциональная модель Интеллектуальной сети

В нижней части модели расположены два SSP (Service Switching Point) – узлы коммутации услуг. В отечественной технической литературе встречается несколько вариантов перевода термина «SSP». Вместо слова «узел» иногда говорят «средства» или «пункт». Аппаратно-программные средства SSP могут быть частью коммутационной станции, что характерно для последних версий цифровых АТС, или автономным оборудованием. В любом случае SSP можно рассматривать как шлюз между ТФОП и аппаратно-программными средствами IN. Основные задачи SSP состоят в обнаружении вызовов, обслуживании которых должно производиться в IN, и обработке таких вызовов в соответствии с инструкциями, полученными от SCP (Service Control Point) – узла управления услугами.

SCP содержит базу данных с необходимой информацией, взаимодействует со всеми компонентами Интеллектуальной сети и управляет ими. Основные функции SCP заключаются в разработке инструкций для обработки вызова в SSP, а также в ведении базы данных, которая необходима для работы IN.

Оборудование SSP и SCP может совмещаться, образуя средства коммутации и управления услугами (SSCP). Один SCP может обслуживать несколько SSP. Каждый SSP может взаимодействовать с несколькими SCP, если подобное решение представляется целесообразным. Такая ситуация может возникать, если один SCP предоставляет услуги, характерные для федерального уровня (например, телеголосование по важным для страны вопросам), а второй SCP используется для обработки предоплаченных карт, эмитируемых региональным банком.

Средства создания услуг SCEP (Service Creation Environment Point) предназначены для разработки, создания и тестирования программного обеспечения IN. Это программное обеспечение создается, в основном, для формирования новых или модификации уже используемых услуг. Задачи, решаемые средствами эксплуатационного управления услугами SMP (Service Management Point), понятны из названия соответствующего функционального блока. Эти средства необходимы для поддержки процессов внедрения услуг, начисления платы, сбора статистики, тестирования оборудования и управления трафиком IN.

Услуги некоторых видов могут предоставляться как с использованием ресурсов Интеллектуальной сети, так и разработанными ранее способами. Например, абонент может установить у себя аппаратуру АОН, чтобы фиксировать информацию о входящих вызовах. Возможности Интеллектуальной сети позволяют получать аналогичную информацию без установки аппаратуры АОН.

Отличительная особенность рассмотренной модели состоит в том, что введение новых услуг, как правило, не требует никаких

изменений в оборудовании ТФОП. Иными словами, основные процессы развития ТФОП (например, рост емкости, замена старых коммутационных станций) и введения новых услуг становятся независимыми. Важно также и то, что процесс предоставления услуг «распространяется» практически на всю ТФОП. Другие платформы не всегда способны обеспечить такую возможность.

6.3. Средства компьютерной телефонии

Русскому термину «компьютерная телефония» в англоязычной технической литературе соответствует аббревиатура СТИ (Computer Telephone Integration). В рекомендациях ITU-T, касающихся компьютерной телефонии, используется термин *Service Node (SN)* – узел поддержки услуг или сервисная платформа.

По ряду функциональных возможностей компьютерная телефония уступает Интеллектуальной сети, построенной в полном соответствии с принятыми стандартами, но существенно выигрывает по стоимостным показателям. Оператор ТФОП должен оценить потенциальный рынок услуг и принять решение о выборе того оборудования, которое обеспечит ему максимальную прибыль при минимальном риске.

Сервисные платформы компьютерной телефонии часто ориентированы на решение определенной группы задач. По этой причине для реализации широкого спектра услуг применяется несколько сервисных платформ. Тем не менее, такой подход, как правило, оказывается экономически оправданным. На рис. 6.3 приведена структура многофункционального центра обслуживания вызовов Протей РВ, используемого рядом ВУЗов в качестве установки для лабораторных работ по этой теме.

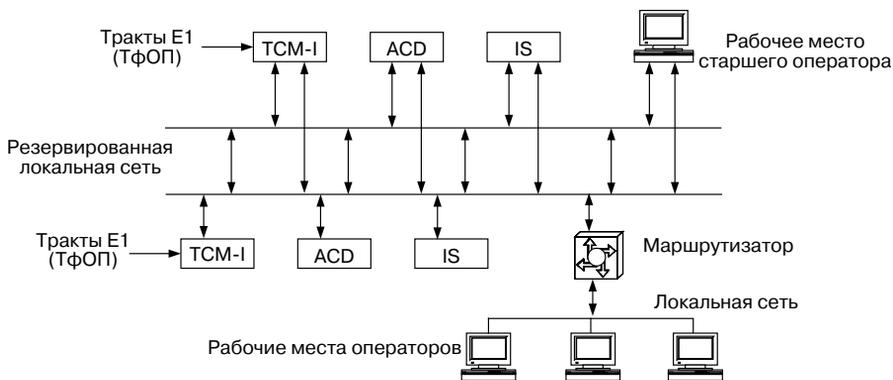


Рис. 6.3. Структура многофункционального центра обслуживания вызовов

Коммутационный модуль ТСМ-I представляет собой шлюз IP-телефонии. В него включаются тракты E1, по которым из ТфОП поступают вызовы. Оборудование модуля ТСМ-I, как и трех других компонентов многофункционального ЦОВ, дублировано. Все модули обмениваются информацией через резервированную локальную сеть, которая работает по стандарту Ethernet. Это означает, что на выходе модуля ТСМ-I все речевые сигналы представлены в виде IP-пакетов. Модуль АСD (автоматическое распределение вызовов) предназначен для организации обслуживания заявок, поступающих в многофункциональный ЦОВ. Этот модуль формирует очереди на обслуживание. Управление очередями может быть организовано различными способами, что позволяет применять многофункциональный ЦОВ для обслуживания трафика любой природы.

Информационный сервер IS содержит несколько подсистем: хранения данных, медиа-ресурсов, автоинформаторов, технического обслуживания. Подсистема хранения данных содержит информацию о конфигурации оборудования, статистические данные, касающиеся его функционирования и обслуженного трафика. Подсистема медиа-ресурсов предназначена для хранения записей переговоров операторов ЦОВ в цифровой форме. Существует возможность прослушивания этих переговоров с рабочего места старшего оператора. Автоинформаторы служат для передачи абонентам сообщений, позволяющих повысить эффективность обслуживания трафика. Подсистема технического обслуживания реализует функции конфигурации ЦОВ, диагностики оборудования, управления устранением отказов, генерации отчетов и архивации.

Рабочие места операторов включаются в локальную сеть. Через маршрутизатор к рабочим местам поступают вызовы, требующие обслуживания. Число рабочих мест – в зависимости от назначения многофункционального ЦОВ – может составлять от единиц до нескольких сотен. Архитектура системы не изменяется.

Почти все средства поддержки услуг, рассмотренные в этой лекции, в основном, были разработаны для ТфОП. Тем не менее, они могут использоваться абонентами СПС и, в меньшей степени, пользователями СДЭ. С учетом особенностей СПС и СДЭ созданы (и эти работы продолжаются) современные средства поддержки услуг, ориентированных на требования потенциальных клиентов. Эти вопросы рассматриваются в шестнадцатой и двадцать шестой лекциях.



Ключевые слова: интегральное обслуживание, ISDN, интерфейс «пользователь-сеть», В-канал, D-канал, Интеллектуальная сеть, компьютерная телефония, центр обслуживания вызовов.



Контрольные вопросы

1. Назовите основные средства поддержки услуг, которые могут быть использованы в ТФОП.
2. Можно ли считать ISDN самостоятельной сетью?
3. В чем заключаются плюсы и минусы средств поддержки услуг, которые были рассмотрены в этой лекции?
4. Можно ли обеспечить услуги, характерные для Интеллектуальной сети, при помощи иных аппаратно-программных средств?
5. Как можно определить номер вызывающего абонента без использования оборудования АОН?
6. Для чего предназначен модуль автоматического распределения вызовов (ACD)?
7. Каково назначение центра обслуживания вызовов?



Задачи и упражнения

1. Попробуйте составить алгоритмы обслуживания вызова экстренных служб (например, «02» при помощи средств Интеллектуальной сети и ЦОВ). Назовите характерные различия в процессе обслуживания подобных вызовов.
2. Определите условия, при которых многофункциональный центр обслуживания вызовов не способен выполнять требуемые операции. Как изменяются эти условия, если одновременно могут отказать один, два, три функциональных блока.



Литература к лекции 6

- 6.1. Титтель Э., Джеймс С., Пискителло Д., Пфайфер Л. ISDN просто и доступно.– М.: ЛОПИ, 1999.
- 6.2. Гольдштейн Б.С., Ехриель И.М., Перле Р.Д. Интеллектуальные сети. – М.: Радио и связь, 2000.
- 6.3. Гольдштейн Б.С., Фрейнкман В.А. Call-центры и компьютерная телефония.– СПб.: Издательство BHV, 2002.

Лекция 7

Услуги, поддерживаемые ТФОП

Post malum segetem serendum est.
(После плохого урожая все-таки надо сеять)

7.1. Классификация услуг, предоставляемых ТФОП

Общепринятой классификации услуг электросвязи пока не существует. Теория классификации (таксономия) ориентирована, в основном, на физические объекты. В книге Ганса Селье «От мечты к открытию» отмечается, что классификация – самый древний и самый простой научный метод. Она служит основой теоретических конструкций многих типов, включая процедуру установления причинно-следственных связей. Ганс Селье удачно сформулировал оценку разных вариантов классификации. Лучшей считается та, которая объединяет наибольшее число фактов самым простым из возможных способов. В этом разделе предложено несколько способов классификации, основанных на различных таксонах (характерных признаках). Такой подход позволяет более полно сформировать представления об услугах электросвязи, но сначала целесообразно обсудить предмет классификации. Следует ответить на вопрос: «Что такое услуга связи?». В последнее время перед словом «услуга» часто используются созвучные определения: «телекоммуникационная» и «инфокоммуникационная». Необходимо объяснить различие этих терминов.

В энциклопедиях и толковых словарях термин «услуга связи» объясняется как продукт деятельности, связанной с приемом, обработкой, передачей и доставкой почтовых отправок или сообщений электросвязи. На сайте ИТУ содержится несколько определений терминов «услуга» (service) и «услуга электросвязи» (telecommunication service). Они определены в разных рекомендациях ИТУ-Т и отражают важнейшие аспекты услуги с точки зрения вопросов, которые входят в сферу компетенции ИК, предложившей трактовку термина. Если попытаться обобщить возможные толкования рассматриваемых терминов, то можно сформулировать следующее определение: *услуга – это набор функций (в частности, информационных ресурсов и приложений), предлагаемых пользователям либо Операторами сетей связи, либо компаниями телевизионного или звукового вещания.* Это определение позволяет уточнить термины «телекоммуникационная услуга» и «инфокоммуникационная услуга». Инфокоммуникационная система представляет собой симбиоз телекоммуникационных сетей и аппаратно-программных средств получения, передачи и обработки информации. С этой точки зрения термин «инфокоммуникационная услуга» представляется универсальным. Если рассматривать обычное соединение двух терминалов в ТфОП, то доступ к каким-либо информационным ресурсам отсутствует. Это означает, что услугу можно рассматривать как телекоммуникационную. Иногда четкую границу между инфокоммуникационными и телекоммуникационными услугами провести невозможно. В подобных случаях термин «инфокоммуникационная услуга» представляется предпочтительным.

Все инфокоммуникационные услуги – с точки зрения технологии распределения информации – могут быть разделены на три большие группы. Услуги первой группы предоставляются при помощи технологии «коммутиция каналов». Характерный пример – получение сигнала о поступлении нового вызова в процессе разговора (Call Waiting). Услуги второй группы предоставляются за счет использования технологии «коммутиция пакетов». IP-телефонию можно считать типичным примером второй группы услуг. Услуги третьей группы базируются на обеих технологиях коммутации. Характерный пример – доступ в Интернет с помощью модема, то есть установление коммутируемого соединения через ТфОП и последующий обмен данными в виде пакетов. С точки зрения практики, сложившейся в телефонии, все инфокоммуникационные услуги делятся на две группы: основные и дополнительные. Для ТфОП основная услуга заключается в установлении соединения между двумя терминалами. Это коммутируемое соединение может быть местным, междугородным, международным.

Для ТФОП все те услуги, которые не входят в группу основных, считаются дополнительными. В некоторых отечественных публикациях они именуются дополнительными видами обслуживания (ДВО).

Еще один способ классификации услуг основан на принципах маршрутизации, которые приняты в ТФОП. Обычно такая классификация интересна для дополнительных услуг. Целесообразно выделить три характерных группы услуг: без изменения правил маршрутизации, с изменением правил маршрутизации, со специфической реализацией. Услуги без изменения правил маршрутизации вызовов основаны на новых функциональных возможностях терминального оборудования и/или коммутационных станций с программным управлением. Характерный пример – уже упомянутая услуга Call Waiting – получение сигнала о поступлении нового вызова в процессе разговора. К услугам, для поддержки которых может потребоваться изменение правил маршрутизации, относятся виды обслуживания, обеспечиваемые в Интеллектуальной сети. Примеры таких услуг приведены в шестой лекции. Услуги со специфической реализацией требуют установки дополнительных средств либо в терминальном оборудовании, либо в станциях коммутации. Пример услуг такого рода – обеспечение конфиденциальности связи. На рис. 7.1 показаны три способа классификации услуг, предложенные в этом разделе. Они не охватывают все варианты классификации, возможные и интересные с практической точки зрения. В частности, изложенные способы классификации могут быть дополнены признаками, касающимися использования УСС.



Рис. 7.1. Три способа классификации инфокоммуникационных услуг

Для телефонной связи, как правило, коммутируются каналы ТЧ. Значительная доля услуг также предоставляется за счет использования транспортных ресурсов канала ТЧ или двухпроводных физических цепей, образующих сети доступа.

На рис. 7.2 представлена классификация видов обслуживания, реализуемых на базе ТФОП. Она основана на различных видах связи, опирающихся на ресурсы ТФОП. Следует подчеркнуть, что предлагаемая классификация весьма условна. В частности, СПС, которой посвящена вторая часть этой книги, можно полностью «уложить» в блок «Мобильный доступ», но вряд ли такой прием будет методологически оправдан.



Рис. 7.2. Классификация видов обслуживания, поддерживаемых ТФОП

Слово «service» в английском языке имеет, как минимум, два значения: услуга и обслуживание. Выбор адекватного варианта перевода может быть сделан только в процессе анализа текста на английском языке. В этой лекции термин «обслуживание» используется для обозначения вида связи. Для каждого вида связи может быть определен набор услуг. С этой точки зрения термин «обслуживание» следует считать более общим. С другой стороны, некоторые услуги (в частности, мультимедийные, предусматривающие, например, одновременную передачу речи и данных) предоставляются за счет нескольких видов связи.

Для описания услуг используются так называемые атрибуты. Они обычно содержат количественные характеристики (например, скорость передачи информации и время доставки сообщения). Кроме того, атрибутами могут быть и словесные утверждения (в частности, «да», «нет», «услуга временно не поддерживается»).

7.2. Дополнительные услуги в телефонии

Левый нижний блок на рис. 7.2 включает в себя множество дополнительных услуг, поддерживаемых ТфОП. Эти услуги могут предоставляться пользователям различными аппаратно-программными средствами.

До появления коммутационных станций с программным управлением перечень дополнительных услуг, доступных абонентам ТфОП, был ограничен функциональными возможностями следующего рода:

- вызов оператора одной из экстренных служб (пожарная команда, органы охраны правопорядка, скорая медицинская помощь, аварийная бригада газовой сети) или же объединенной «Службы спасения»);
- доступ к информационно-справочным службам разного назначения для получения необходимых сведений;
- выход к оператору междугородной и международной телефонной связи для установления требуемого соединения.

Введение в коммерческую эксплуатацию коммутационных станций с программным управлением позволило существенно расширить спектр дополнительных услуг, которые стали доступны абонентам ТфОП. Например, в североамериканской ТфОП широкую популярность получили дополнительные услуги четырех видов:

1. Уведомление о поступлении нового вызова в процессе разговора (Call Waiting). Услышав соответствующий сигнал (тиккер) абонент может ответить на новый вызов. Установленное ранее соединение сохраняется. Ответив на новый вызов, абонент может вернуться к прерванному на время разговору.
2. Переадресация вызова по заранее заданному номеру (Call Forwarding). Все входящие вызовы автоматически направляются на другой номер, который заранее выбран абонентом. Этот номер хранится в коммутационной станции в течение времени действия данной услуги.
3. Подключение к уже установленному соединению терминала третьего абонента (Three-Way Calling). Эту услугу можно рассматривать как простейший вариант конференции. Услуга позволяет эффективно решить задачи, в которых необходимо учитывать мнение трех сторон.
4. Сокращенная нумерация для вызова определенной группы абонентов (Speed Calling). Эта услуга позволяет сократить время установления соединения, а также уменьшить вероятность ошибок, которые неизбежны при наборе большого числа цифр. В связи с расширением функциональных возможностей телефонных терминалов интерес к этой услуге стал падать.

Примеры других дополнительных услуг, используемых абонентами ТФОП, могут быть представлены следующим перечнем:

- переадресация при занятости линии вызываемого абонента (один из видов услуги Call Forwarding);
- временный запрет входящей связи (всех вызовов или только местных), что может оказаться полезным в период выполнения важной работы;
- исходящая связь по паролю (вызовы всех видов, или только к платным службам, а также междугородные и международные);
- определение номера вызывающего абонента без установки аппаратуры АОН рядом с вызываемым терминалом.

Реализация этих и ряда других услуг возможна разными способами. На рис. 7.3 показана классификация аппаратно-программных средств, которые могут быть использованы для предоставления дополнительных услуг абонентам ТФОП.



Рис. 7.3. Классификация аппаратно-программных средств для поддержки дополнительных услуг в ТФОП

Дополнительные услуги могут предоставляться устройствами управления АТС без использования каких-либо дополнительных аппаратно-программных средств. Например, четыре приведенные выше дополнительные услуги могут быть предоставлены за счет функциональных возможностей, присущих коммутационным станциям с программным управлением. Более того, современные цифровые АТС способны предоставлять услуги CENTREX, позволяющие предприятию без установки оборудования коммутации получить все функциональные возможности УАТС.

В городских и сельских телефонных сетях малой емкости доступ к экстренным и к информационно-справочным службам также обеспечивается за счет тех функциональных возможностей, которые присущи современным коммутационным станциям. В таких случаях создается своего рода виртуальный УСС. В большинстве городских и сельских телефонных сетей для выхода к экстренным и информационно-справочным службам устанавливается оборудова-

ние УСС. В настоящее время для связи с операторами экстренных служб набираются две цифры, которые идентичны на всей территории России. Для выхода к операторам информационно-справочных служб обычно набираются три цифры. В качестве первой цифры выхода к УСС пока используется цифра «0». В перспективе, согласно общеевропейским требованиям, нумерация всех дополнительных услуг будет начинаться с цифры «1».

В шестой лекции изложены принципы построения IN (Интеллектуальной сети), аппаратно-программных средств ISDN (цифровой сети интегрального обслуживания) и оборудования компьютерной телефонии. Они обеспечивают доступ абонентов к экстренным и к информационно-справочным службам (иногда – более эффективный), но главное преимущество этих аппаратно-программных средств состоит в высокой конкурентоспособности Оператора ТфОП на рынке инфокоммуникационных услуг.

Концепция «Интеллектуальная сеть» особо эффективна для предоставления услуг, которые предусматривают изменение правил маршрутизации вызовов – верхняя грань кубика на рис. 7.1. При использовании средств компьютерной телефонии подобные возможности ограничены. По этой причине средства компьютерной телефонии иногда называют одностанционной Интеллектуальной сетью (oneswitch intelligent network). При разработке концепции ISDN основное внимание уделялось дополнительным услугам, которые не относятся к телефонии. Тем не менее, ряд интересных возможностей ISDN предлагает и для телефонной связи.

Дополнительные услуги, эффективно поддерживаемые аппаратно-программными средствами Интеллектуальной сети, могут быть представлены следующими примерами:

1. *Оплата соединения вызываемым абонентом (Freephone)*. Предоставление этой услуги подразумевает набор трехзначного кода (в настоящее время многими Операторами ТфОП для этого выделена комбинация «800») и семизначного номера. Набранные семь цифр, называемые логическим номером, определяют только вид услуги (например, заказ пиццы или бронирование авиабилета). Аппаратно-программные средства SSP и SCP, в зависимости от времени суток, интенсивности трафика и других факторов, определяют ту точку (физический номер), куда следует направить вызов. В ряде случаев (в частности, для бронирования авиабилета) соединение может быть установлено с рабочим местом оператора, который находится в другом городе и даже в другой стране.
2. *Информационная услуга с начислением дополнительной платы (Premium Rate)*. При заказе некоторых услуг абонент должен заплатить не только за трафик, но и за полученную информацию. Полученные деньги делятся между Оператором ТфОП и поставщиком информационных ресурсов в соответствии с

заранее установленными правилами. В ряде стран для этой услуги в качестве трехзначного кода используется комбинация «900». По этой причине в технической литературе появилось название «Услуга 900».

3. *Виртуальная частная сеть* (Virtual private network). Суть этой услуги – использование ресурсов ТфОП для организации корпоративной сети, в которой могут функционировать несколько УАТС и/или обслуживаться абоненты за счет функциональных возможностей CENTREX.
4. *Телеголосование* (Televoting). Эта услуга позволяет провести опрос общественного мнения с использованием ТфОП. Для разных вариантов ответа назначаются разные номера. Каждый участник голосования набирает тот номер, который соответствует его мнению. Возможно использование единственного телефонного номера, набрав который участник голосования получает речевую подсказку и сообщает свое мнение либо путем дополнительного набора, либо в речевом диалоге.

Приведенные четыре примера услуг – теоретически – могут быть реализованы и средствами компьютерной телефонии. Услуга Freephone, если речь идет о заказе пиццы, за счет средств компьютерной телефонии реализуется, по всей видимости, экономичнее. Для организации бронирования авиабилетов в транснациональной компании необходимо централизованное управление информационными ресурсами. В подобных случаях выбор платформы «Интеллектуальная сеть» представляется предпочтительным. Таким образом, средства компьютерной телефонии, скорее всего, ориентированы на услуги, которые предоставляются в пределах местной телефонной сети. Характерные примеры тех услуг, которые эффективно поддерживаются средствами компьютерной телефонии, могут быть представлены таким перечнем:

1. Использование предоплаченных (prepaid) карт для разных видов обслуживания.
2. Обеспечение связи с операторами и автоматическими устройствами в ЦОВ разного назначения.
3. Организация системы речевой почты для абонентов фиксированных и мобильных сетей телефонной связи.

Среди услуг ISDN целесообразно выделить те возможности, реализация которых обусловлена доведением цифрового потока до терминалов пользователя. Характерными примерами услуг такого рода следует считать:

1. Телефонную связь с кодированием сигнала в полосе пропускания 7 кГц, что обеспечивает более комфортное восприятие речи. Для связи при этом используется стандартный В-канал.
2. Передача сигнальных сообщений между терминалами пользователей для обмена небольшими блоками информации.

Спектр услуг, которые Оператор ТФОП предлагает своим абонентам, постоянно расширяется. Некоторые услуги не пользуются спросом; постепенно они исчезают из перечня поддерживаемых функциональных возможностей. Появляются новые виды услуг. Перспективы развития рынка услуг рассматриваются в конце этой лекции.

7.3. Особенности предоставления услуг в СТС

Системе сельской телефонной связи свойственны некоторые особенности, среди которых важная роль принадлежит экономическим, географическим, демографическим и историческим факторам. В мировой практике обычно выделяют два типичных фрагмента сельской местности. Первый фрагмент включает в себя сельские населенные пункты. Строго говоря, именно для таких фрагментов рассматриваются принципы построения сельской (rural) связи. Второй фрагмент – так называемые удаленные (remote) пункты. Организация связи для удаленных пунктов требует весьма существенных капитальных затрат. Для организации связи с удаленными пунктами, которые, как правило, являются и малонаселенными, установлены принципы «универсального обслуживания».

Федеральный закон «О связи» содержит отдельную главу «Универсальные услуги связи», посвященную этим принципам. Законом «О связи» предусмотрено, чтобы житель удаленного пункта мог без использования транспортных средств не более чем за час добраться до таксофона. В населенных пунктах с численностью жителей свыше пятисот человек должен быть хотя бы один коллективный пункт доступа в Интернет. Отдельная программа предусматривает организацию доступа в Интернет для каждой школы. Еще одна особенность системы сельской телефонной связи заключается в том, что в ней уже давно, раньше чем в городах, начались интеграционные процессы.

Характер этих процессов иллюстрируется на рис. 7.4. На этом рисунке показана схема организации связи между ЦС и ОС. Предполагается, что обе сельские АТС относятся к аналоговым коммутационным станциям. Они связаны между собой трактом E1, который образуют две цифровые системы передачи. Из всего комплекса систем передачи на схеме изображены только аналого-цифровые преобразователи. Для обмена телеграфными сообщениями и подачи программ звукового вещания в сельских транспортных сетях используются специальные блоки ввода и вывода сигналов. Эти блоки «перехватывают» линейный тракт системы передачи, чтобы занять заранее выбранные канальные интервалы. Канальный интервал, предназначенный для передачи телеграфных сообщений, при необходимости, может быть уплотнен оборудованием для организации нескольких трактов обмена дискретной информацией.

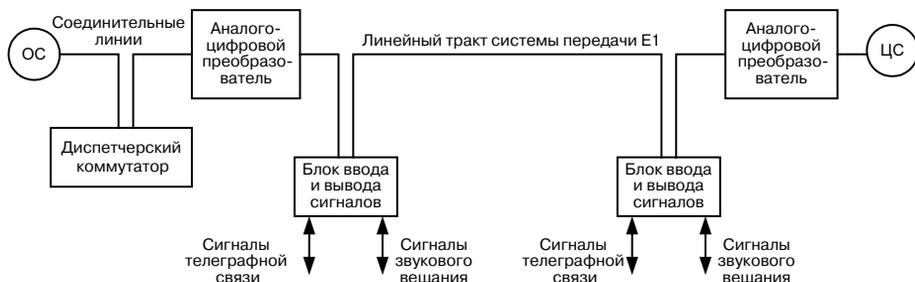


Рис. 7.4. Принципы поддержки ряда услуг за счет использования ресурсов СТС

Для подачи программ звукового вещания используется несколько канальных интервалов. Их количество определяется классом канала вещания. Соединительные линии (все или их часть) на стороне ОС могут включаться через диспетчерский коммутатор, предназначенный для информационной поддержки процессов управления сельскохозяйственным производством. Диспетчерский коммутатор может также «перехватывать» транспортные ресурсы в виде соединительных линий. Подобный способ организации связи используется в тех случаях, когда производственные процессы требуют наличия мощной диспетчерской службы.

7.4. Перспективы развития рынка услуг ТфОП

Дальнейшее развитие рынка услуг, предоставляемых ТфОП, будет происходить по нескольким направлениям. Целесообразно выделить три основных пути развития тех услуг, которые прямо или косвенно связаны с телефонией.

Первое направление – расширение спектра услуг, предоставляемых современными сетями телефонной связи. Новые виды услуг появляются как следствие развития ТфОП и под воздействием эволюционных процессов, протекающих в других сетях. В частности, стало известно, что Операторы мобильной связи получают сравнительно высокие доходы за счет услуг передачи коротких сообщений SMS (Short Message Service). Этот факт стимулировал разработку телефонных аппаратов с аналогичными возможностями, предназначенных для применения в ТфОП.

Второе направление развития рынка услуг связано с процессами конвергенции, характерными для современной инфокоммуникационной системы. Одно из интересных направлений процессов конвергенции – сближение функциональных возможностей сетей фиксированной и мобильной связи. Характерным примером может считаться мобильность (хотя и ограниченная) новых видов беспроводных (cordless) телефонных аппаратов, которые предназначены для ТфОП. Среди услуг, связанных с процессами конвергенции, следует выделить так называемый бесшовный (seamless) переход

из одной сети в другую. Эта услуга позволяет абонентам снизить свои расходы на связь при переходе из сети мобильной связи в ТфОП. При обратном переходе важным свойством рассматриваемой услуги становится возможность не прерывать сеанс связи.

Третье направление обусловлено одной из ведущих тенденций развития всей инфокоммуникационной системы. Речь идет о переходе к NGN. Несомненно, в эпоху NGN, основанной на пакетных технологиях передачи и коммутации, телефонная связь будет играть важную роль как одно из эффективных средств коммуникаций. Вопрос заключается в следующем: корректно ли говорить об услугах телефонии при переходе к NGN? Ответ на этот вопрос – частично – содержится в заключительной лекции о ТфОП, а также во второй и третьей частях этой книги.



Ключевые слова: основные услуги, дополнительные услуги, цифровая сеть интегрального обслуживания, Интеллектуальная сеть, оплата соединения вызываемым абонентом, информационная услуга с начислением дополнительной платы, виртуальная частная сеть, телеголосование.



Контрольные вопросы

1. Что такое «атрибуты услуги»?
2. Какие услуги предоставляются в ТфОП при помощи узла специальных служб?
3. Каковы особенности реализации дополнительных услуг в сельских сетях телефонной связи?
4. Назовите четыре дополнительных услуги, популярные в ТфОП Северной Америки.
5. В чем заключаются преимущества и недостатки использования средств Интеллектуальной сети для введения новых видов услуг?
6. Назовите основные перспективы развития услуг ТфОП.
7. Найдите примеры конвергенции при использовании мобильных телефонов и терминалов DECT.



Задачи и упражнения

1. Проанализируйте положительные свойства четырех дополнительных услуг, введенных в североамериканской ТфОП, с точки зрения абонента.
2. Проанализируйте положительные свойства четырех дополнительных услуг, введенных в североамериканской ТфОП, с точки зрения Оператора связи.



Литература к лекции 7

- 7.1. Разроев Э. Инфокоммуникационный бизнес: управление, технологии, маркетинг. – СПб.: издательство «Профессия», 2003.
- 7.2. Гольдштейн Б.С. Системы коммутации. – Санкт-Петербург, БХВ, 2003.
- 7.3. Соколов Н.А. Телекоммуникационные сети. – М.: Альварес Пабблишинг, 2004.

Лекция 8

Качество обслуживания в ТфОП

Dilatio est quoadum negatio.
(Промедление – вид отказа)

8.1. Основные понятия

Термин «качество обслуживания» часто встречается в технической литературе. В публикациях на английском языке ему соответствует словосочетание Quality of Service (QoS). Термин «качество обслуживания» употребляется при описании различных аспектов функционирования телефонных сетей. В документах ITU-T термины, относящиеся к качеству обслуживания, определяются рекомендацией E.800. Показатели QoS в этой рекомендации рассматриваются как результат совместного проявления характеристик обслуживания. На рис. 8.1, заимствованном из рекомендации ITU-T E.800, показана модель, которая определяет компоненты качества обслуживания и их взаимные связи. Пунктирная линия делит рисунок на две части. В верхней части приведены основные характеристики качества обслуживания. Характеристики сети перечислены в нижней части модели. Во всех блоках указаны только названия на русском языке.

В тексте после рис. 8.1 приведены термины и на языке оригинала. Эти термины применимы как для ТфОП, так и для других сетей связи, рассматриваемых в этой книге.

Аспекты качества обслуживания в СПС и СДЭ изложены в лекциях 18 и 28 соответственно.

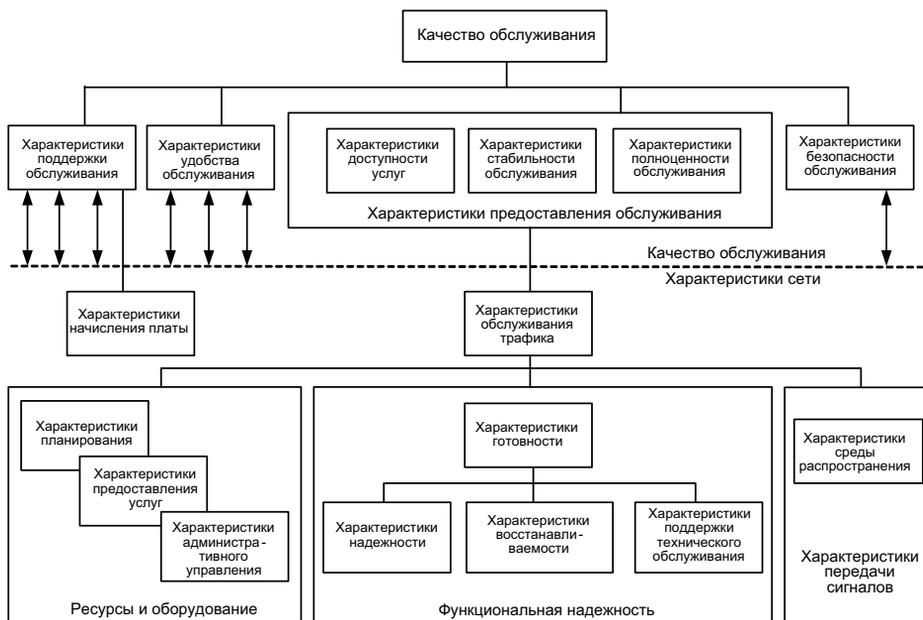


Рис. 8.1. Модель ITU-T, объясняющая термины в области качества обслуживания

Ожидаемый уровень обслуживания может оцениваться такими характеристиками:

- поддержка обслуживания (service support);
- удобство обслуживания (service operability);
- предоставление обслуживания (service availability);
- безопасность обслуживания (service security).

Характеристики поддержки обслуживания отражают способность Оператора (или иного участника инфокоммуникационного рынка) предоставить услуги и способствовать их использованию. Характеристики удобства обслуживания оценивают успешность и простоту пользования услугами. Характеристики предоставления обслуживания, в свою очередь, делятся на три группы:

- доступность услуг (service accessibility);
- стабильность обслуживания (service retainability);
- полноценность обслуживания (service integrity).

Характеристики доступности услуг оценивают возможность их получения по требованию пользователя (с заранее специфицированными допусками и с соблюдением других заданных условий)

и продолжения обслуживания в течение запрошенного интервала времени без ощутимого ухудшения. Характеристики устойчивости обслуживания определяют возможность пользования полученной услугой с заданными атрибутами в течение запрошенного интервала времени. Характеристики полноценности обслуживания – общая мера того, что обслуживание, будучи полученным, происходит без значительного ухудшения.

Характеристики безопасности обслуживания связаны со следующими аспектами функционирования сети электросвязи: несанкционированный мониторинг, жульническое использование, злонамеренное повреждение, неправильное применение, ошибка человека, стихийное бедствие.

Все перечисленные выше характеристики обслуживания зависят от качества работы сети, а также от ее функциональных возможностей. Соответствующие связи показаны на рис. 8.1 ниже пунктирной линией.

Характеристики начисления платы (charging performance) оцениваются в тексте рекомендации E.800 проще, чем в ряде других международных документов. Они определяются через вероятность корректного начисления платы с точки зрения вида связи, пункта назначения, времени суток и длительности соединения.

Характеристики обслуживания трафика (trafficability performance) определяют способность технических средств обслуживать трафик с определенными параметрами. Эти характеристики разделены на три большие группы.

Термины для первой группы – «Ресурсы и оборудование» – еще не определены. По всей видимости, определения для характеристик планирования (planning performance), предоставления услуг (provisioning performance) и административного управления (administration performance) будут разработаны в ближайшее время.

Вторая группа названа функциональной надежностью (dependability). Этот собирательный термин указывает на характеристики готовности (работоспособности), учитывая основные влияющие факторы. Выделяются четыре важные характеристики:

- готовность (availability) – способность технического средства выполнить требуемые функции в данный момент времени или в любой момент внутри заданного интервала времени (при наличии соответствующих внешних ресурсов, если они необходимы);
- надежность (reliability) – способность технического средства выполнять требуемые функции при заданных условиях в течение определенного интервала времени;
- восстанавливаемость (maintainability) – способность технического средства в установленных условиях его использования

поддержку восстановления такого его состояния, в каком оно может выполнять требуемые функции при условии, что техническое обслуживание проводится с применением установленных процедур и ресурсов;

- поддержка технического обслуживания (maintenance support) – способность эксплуатационной компании при заданных правилах технического обслуживания по требованию использовать ресурсы, необходимые для обеспечения работоспособности определенного технического средства.

К третьей группе относятся характеристики передачи сигналов (transmission performance). Они определяются как уровень воспроизведения сигнала, переданного через систему связи, которая находится в работоспособном состоянии. В рекомендации ITU-T E.800 выделены характеристики среды распространения (propagation performance). Они определяются способностью этой среды обеспечивать прохождение сигнала с заданными допусками без искусственного регулирования этого процесса.

Очевидно, что исследование вопросов качества обслуживания в ТфОП, как и в любой другой сети электросвязи, требует решения комплекса взаимосвязанных задач. Тем не менее, подход, предложенный ITU-T, позволяет выделить ряд задач, решение которых – применительно к ТфОП – можно рассматривать как самостоятельные проблемы. Одна из важных задач построения ТфОП состоит в том, чтобы обслуживание вызова, которое включает в себя ряд этапов, происходило с соблюдением всех установленных норм, а при телефонном разговоре соблюдались заданные показатели качества передачи речи. Эти нормы и показатели в каждой стране регламентируются национальной Администрацией связи. Их совокупность, а также соответствующие численные значения базируются на документах ITU и ETSI.

Для российской ТфОП показатели качества обслуживания традиционно делятся на две большие группы. В первую группу входят показатели качества обслуживания вызовов. Значительная часть этих показателей входит в блок, названный на рис. 8.1 характеристиками предоставления обслуживания. Характерные примеры показателей качества обслуживания вызовов рассматриваются во втором разделе. Параметры, определяющие качество передачи речи, образуют вторую группу показателей. В третьем разделе приведены соответствующие примеры.

8.2. Качество обслуживания вызовов

Для оценки качества обслуживания вызовов в ТФОП чаще других используются две меры: вероятность случайного события и время выполнения связанного с этим событием процесса. Длительность выполнения большинства процессов, касающихся обслуживания вызовов, является случайной величиной. По этой причине она тоже оценивается при помощи характеристик, принятых для описания случайных величин.

На рис. 8.2 показано гипотетическое соединение между двумя телефонными аппаратами, установленное в ТФОП. Слева показан телефонный аппарат вызывающего абонента. Пользователя, который инициирует соединение в ТФОП, обычно именуют абонентом «А». Абонентом «Б», соответственно, называют вызываемого пользователя. Его телефонный аппарат изображен в правой части рис. 8.2. Нижний индекс местной станции соответствует виду абонента (вызывающий или вызываемый). Предполагается, что соединение установлено через N транзитных станций, а оба телефонных аппарата включены (каждый в свою станцию) по индивидуальным двухпроводным абонентским линиям.

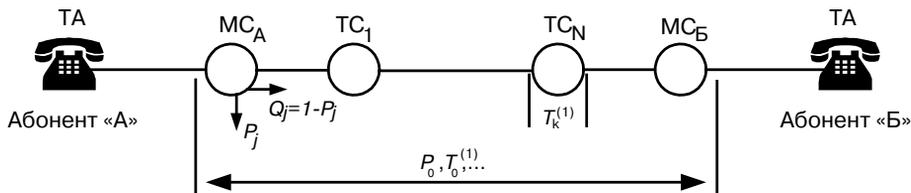


Рис. 8.2. Установленное соединение между телефонными аппаратами двух абонентов

На основании теоретических исследований и результатов измерений в ТФОП были установлены нормы, которые определяют показатели качества обслуживания вызовов для сети в целом. Далее соответствующие нормы указываются с нижним индексом «0».

На рис. 8.2 указаны только два таких показателя: P_0 – вероятность потери вызова и $T_0^{(1)}$ – среднее время установления соединения. Обычно показатели качества обслуживания вызовов нормируются для часа наибольшей нагрузки (ЧНН).

Для местной станции, в которую включен абонент «А», показаны два возможных исхода процесса установления соединения. С вероятностью P_j вызов в МС_А теряется. Это означает, что с вероятностью $Q_j = 1 - P_j$ соединение продолжает устанавливаться. Если вероятности обслуживания вызова во всех коммутационных станциях являются взаимно независимыми случайными величинами, то значение P_0 определяется по такой формуле:

$$P_0 = 1 - \prod_{\{J\}} (1 - P_j). \quad (8.1)$$

На установление соединения между терминалами абонентов «А» и «Б» каждая коммутационная станция затрачивает время $T_k^{(1)}$. Величина $T_0^{(1)}$ определяется как математическое ожидание суммы случайных величин:

$$T_0^{(1)} = \sum_{\{K\}} T_k^{(1)}. \quad (8.2)$$

Допустимая вероятность потерь выбирается с учетом двух основных соображений. С одной стороны, большие потери делают неприемлемым обслуживание с точки зрения абонентов. С другой стороны, при построении ТфОП с очень малыми потерями существенно увеличиваются затраты Оператора. В результате он вынужден устанавливать высокие тарифы, что также неприемлемо для абонентов. Это означает, что необходимо найти компромиссное решение.

Нормативные документы Администрации связи России, действующие в настоящее время, определяют величину P_0 для типичных соединений между терминалами абонентов «А» и «Б». В частности, для соединений в пределах местной телефонной сети были установлены следующие допустимые вероятности потерь:

- при связи двух абонентских терминалов одной ГТС – 2,0%¹;
- при связи абонентского терминала ГТС с УСС – 0,1%;
- при связи УСС с рабочим местом оператора экстренных служб – 0,1%;
- при связи УСС с рабочим местом оператора информационных и справочных служб – 3,0%;
- при связи двух абонентов одной СТС – 7,0%.

Следовательно, при связи абонентов ТфОП допускаются вероятности потерь в ЧНН, измеряемые единицами процентов. При обращении к оператору экстренных служб предполагается нормирование потерь, составляющих доли процента.

Выбор средних значений длительности установления соединения и отдельных этапов обслуживания вызова осуществляется с учетом тех же соображений, которыми руководствуется Оператор для установления допустимых потерь. При нормировании величин T_k , наряду со средним значением – $T_k^{(1)}$, иногда устанавливается и квантиль соответствующей функции распределения. Это означает, что определяется вероятность, с которой рассматриваемая случайная величина не должна превышать некий порог – T_x . Как правило, эта вероятность – значение функции распределения случайной величины – выбирается на уровне 0,95 или более.

¹ Иногда нормируемые вероятности указываются в промилле (от латинского «pro mille» буквально – к тысяче). Для перехода к промилле норме в процентах следует умножить на десять.

Тогда справедливо такое неравенство: $T_k^{(1)} < T_x$.

Вызов начинается с поднятия микрофонной трубки. Через случайное время – T_{oc} абонент услышит акустический сигнал «Ответ станции». ИТУ-Т рекомендует, чтобы для эталонной нагрузки «А» были установлены следующие нормы:

- среднее значение длительности интервала времени T_{oc} не должно быть выше 400 мс;
- с вероятностью 95% длительность интервала времени T_{oc} не должна превышать 600 мс.

Акустический сигнал «Ответ станции» посылается абоненту своей МС. Поэтому в формулу (8.2) входит всего одно слагаемое. При расчете времени установления соединения формула (8.2) будет содержать максимальное число слагаемых. Рассматриваемый отрезок времени начинается после набора последней цифры номера вызываемого абонента. Заканчивается время установления соединения получением акустического сигнала («Контроль посылки вызова» или «Занято»). Этот сигнал определяет состояние терминала вызываемого абонента. В ряде зарубежных ТФОП для этого отрезка времени – T_{yc} при междугородном соединении выбраны такие нормы:

- среднее значение длительности интервала времени T_{yc} не должно быть выше 2,5 с;
- с вероятностью 95% длительность интервала времени T_{yc} не должна превышать 4,0 с.

Численные значения этих норм определены для страны с небольшой территорией (когда временем распространения сигнала можно пренебречь) и при условии передачи сигналов управления и взаимодействия по сети ОКС. С другой стороны, приведенные величины выбраны с учетом реакции абонента на длительность времени установления соединения. По этой причине их можно считать близкими к тем, которые универсальны для ТФОП любой страны.

Величины $T_k^{(1)}$, как элементы множества $\{K\}$, могут быть связаны между собой через весовые коэффициенты – β_k , сумма которых равна единице. Эти коэффициенты определяются Операторами ТФОП на основании довольно простых соображений. Тогда величины $T_k^{(1)}$ определяются по формуле (8.2) тривиально. В левую часть (8.2) подставляется среднее значение времени установления соединения – $T_{yc}^{(1)}$.

Существенно сложнее «распределить» 95%-й квантиль функции распределения (в рассматриваемом примере он равен 4,0 с) по элементам сети. Метод решения подобных задач приведен в следующей лекции.

Важная особенность показателей качества обслуживания в ТфОП – их постепенное изменение. Этот процесс обусловлен двумя основными тенденциями. Первая тенденция связана с тем, что большинство абонентов предъявляет все более жесткие требования к качеству обслуживания трафика. Вторая тенденция формируется вследствие расслоения клиентской базы. Некоторые группы абонентов, приносящих Оператору ТфОП самые высокие доходы, предъявляют особые требования к показателям обслуживания трафика. Операторы ТфОП безусловно заинтересованы в том, чтобы такие абоненты не ушли к конкурентам. В качестве меры удержания абонентов с высокими доходами (повышения их лояльности) используется практика заключения соглашений об уровне обслуживания, более известных по англоязычной аббревиатуре SLA (Service Level Agreement).

Один из характерных примеров тех показателей, которые обычно входят в состав соглашения об уровне обслуживания, – блок «Функциональная надежность» (центральный фрагмент в нижней части рис. 8.1). В частности, для коэффициента готовности – A при заключении соглашения SLA устанавливается уровень 0,99999. В технической литературе появилось выражение «Правило пяти девяток». Коэффициент готовности за период времени – T_x определяется отношением времени нахождения рассматриваемого объекта в работоспособном состоянии – T_a к величине T_x . Предполагается, что в течение времени T_x исследуемый объект находится либо в работоспособном состоянии, либо выведен из эксплуатации. Длительность периода, когда рассматриваемый объект не эксплуатируется равно T_F . Тогда выражение для расчета коэффициента готовности может быть представлено следующим образом:

$$A = \frac{T_a}{T_a + T_F} . \quad (8.3)$$

Подставляя значение $A=0,99999$, можно определить допустимое значение T_F для выбранного периода эксплуатации. За год искомая величина составляет около 5,3 минуты. Для выполнения такой нормы часто требуется резервирование многих элементов сети. Это означает, что прогнозирование тех изменений, которые связаны с показателями качества обслуживания, становится одной из важных задач, стоящих перед Операторами ТфОП.

8.3. Качество телефонной связи

Показатели качества обслуживания, рассмотренные в предыдущем в разделе этой лекции, интересны – при использовании технологии «коммутация каналов» – для этапов установления и прекращения соединений в ТфОП.

Соответствующие операции выполняются до и после основного этапа обслуживания вызова – телефонного разговора двух абонентов (в общем случае – обмена информацией между терминалами). На этом этапе для абонентов ТФОП существенны показатели качества телефонной связи. Они определяются характеристиками транспортной сети и коммутационных станций.

Важнейшей оценкой качества телефонной связи считается мнение абонента. В качестве меры качества речи ITU-T использует среднюю экспертную оценку, известную по аббревиатуре MOS (Mean Opinion Score). Она определяется по пятибалльной шкале. В стандартах ETSI для оценки качества телефонной связи используется величина R . Она связана с оценкой MOS нелинейной зависимостью. В практически значимом диапазоне MOS (от 2,5 до 4,4) применяется простое правило пересчета: $MOS=R/20$. Для основной массы абонентов приемлема оценка $R>70$. Связь величин R с абонентской оценкой телефонной связи иллюстрируется табл. 8.1.

Таблица 8.1. Связь величин R с абонентской оценкой телефонной связи

Диапазон R	Категория качества речи	Удовлетворенность абонентов
90 – 100	наилучшая (best)	удовлетворены в высшей степени
80 – 90	высокая (high)	удовлетворены
70 – 80	средняя (medium)	некоторые не удовлетворены
60 – 70	низкая (low)	многие не удовлетворены
50 – 60	плохая (poor)	почти все не удовлетворены

С точки зрения восприятия звуковой информации особое значение придается показателю LSQ (Listener Speech Quality) – качеству речи для слушающего абонента. Величины LSQ, как и значения R , определяются субъективно. Тем не менее, существуют и объективные оценки качества телефонной связи. Они прямо или косвенно связаны с субъективными оценками качества передачи речи. Объективные оценки, как правило, отражают один или несколько аспектов качества телефонной связи. Ценность подобных оценок заключается в том, что они позволяют планировать ТФОП с учетом требований к качеству передачи речи. Для объективных оценок обычно используются характеристики, которые могут быть измерены в процессе эксплуатации ТФОП.

Оценки, подобные приведенным в табл. 8.1, интересны также для СПС и СДЭ. Правда, для обеспечения заданного уровня показателей качества обслуживания в этих сетях приходится решать ряд других задач. Они рассматриваются в восемнадцатой и двадцать восьмой лекциях.

На рис. 8.3 приведена модель тракта обмена информацией между телефонными аппаратами двух абонентов. Как и для модели, рассмотренной ранее, предполагается, что соединение установлено через N транзитных станций, а включение обоих телефонных аппаратов осуществляется по индивидуальным двухпроводным абонентским линиям. Для показателей, определяемых между абонентскими терминалами, в качестве нижнего индекса используется цифра «0». В других случаях вводятся буквенные обозначения при нормируемых показателях.

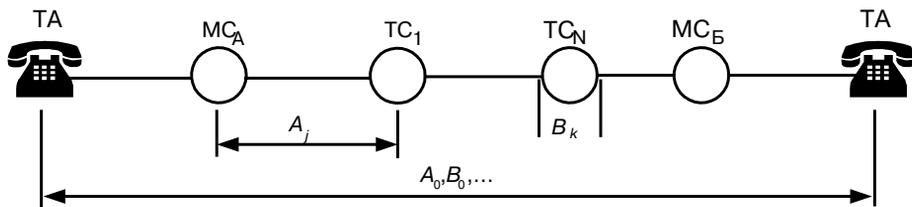


Рис. 8.3. Тракт обмена информацией между телефонными аппаратами двух абонентов

Одним из важнейших показателей качества телефонной связи считается величина остаточного затухания между абонентскими терминалами – A_0 . Она определяется как разность между уровнями сигнала частотой 1020 Гц на входе и на выходе канала, который организован между абонентскими терминалами. Снижение уровня принимаемого сигнала (при значительном остаточном затухании) ухудшает восприятие речи. В сочетании с другими мешающими факторами (в частности, с шумами) рост остаточного затухания может привести к невозможности телефонного разговора.

Требования абонентов ТфОП к остаточному затуханию разговорного тракта можно оценить при помощи сравнения с общением двух человек, находящихся на расстоянии друг от друга. Процессы, связанные с восприятием речи, очень схожи. В обоих случаях сигнал ослабевает. В табл. 8.2 приведены данные об изменении требований абонентов к качеству телефонной связи.

Таблица 8.2. Изменение требований абонентов к допустимому затуханию

Вид соединения в ТфОП	Эквивалентное расстояние при обычном общении, м				
	1923 год	1933 год	1950 год	1985 год	Оптимальное
Местное	14	8,3	3,5	2,0	0,6
Междугородное	25	11,7	5,0	2,0	0,6

Очевидно, что величина остаточного затухания A_0 в процессе модернизации ТфОП должна уменьшаться. При цифровизации ТфОП

такая возможность достигается за счет использования концепции «наложенной сети», рассмотренной в третьей лекции. Для цифрового участка ТфОП (между двумя АЦП) остаточное затухание целесообразно устанавливать на уровне 7 дБ. Эта величина относится к базовой сети, о которой говорилось во вводной лекции. Тогда в цифровой ТфОП (рис. 8.4) остаточное затухание разговорного тракта будет определяться параметрами абонентских линий.



Рис. 8.4. Распределение остаточного затухания в цифровой телефонной сети

В скобках для каждого обозначения остаточного затухания (между терминалами двух абонентов – A_0 , абонентской линии – $A_{АЛ}$ и базовой сети – $A_{БС}$) приведены те перспективные нормы, которые рекомендуются для цифровой ТфОП. Следует заметить, что повышение допустимой величины остаточного затухания для абонентской линии (ранее было нормировано значение 4,5 дБ) может привести к проблемам с применением технологий xDSL. Кроме того, увеличиваются затраты на построение сети доступа. Эти вопросы рассматриваются в следующей лекции.

Еще одним важным показателем качества телефонной связи в цифровой ТфОП является коэффициент искажений битов – BER (Bit Error Rate). В ряде публикаций этот коэффициент называется частотой появления искаженных битов. Увеличение количества таких битов может заметно исказить речевой сигнал и существенно влиять на процессы обмена данными при использовании ресурсов ТфОП для передачи дискретной информации. Качество тракта Е1, соединяющего цифровые коммутационные станции между собой, считается хорошим, если коэффициент искаженных битов не превышает уровень 10^{-6} .

Качество обслуживания стало очень эффективным средством для повышения конкурентоспособности Оператора связи. По этой причине исследованию характеристик качества обслуживания и разработке методов его улучшения уделяется серьезное внимание. Один из примеров, касающихся современных исследований характеристик качества обслуживания в ТфОП, приведен в следующей лекции.



Ключевые слова: качество обслуживания, характеристики и показатели качества обслуживания, готовность, надежность, восстанавливаемость, потери, задержки, затухание, коэффициент искаженных битов, функция распределения, квантиль.



Контрольные вопросы

1. Какими характеристиками можно оценить ожидаемый уровень обслуживания?
2. На какие три группы ИТУ-Т делит характеристики предоставления обслуживания?
3. С какими аспектами функционирования сети электросвязи связаны характеристики безопасности обслуживания?
4. Как изменяются со временем требования абонентов к показателям качества обслуживания?
5. В чем смысл нормирования квантиля функции распределения?
6. В каких случаях может быть увеличено допустимое затухание абонентской линии?



Задачи и упражнения

1. Определите по формуле (8.3) допустимое значение T_F за один год при $A=0,9999$. Изменится ли полученная величина, если допустимое время согласованных регламентных работ составляет 1 час за год?
2. Если случайная величина t распределена по экспоненциальному закону $F(t) = 1 - e^{-t/t^{(1)}}$, (где $t^{(1)}$ – математическое ожидание), то каково значение 95%-го квантиля.



Литература к лекции 8

- 8.1. Вемян Г.В. Передача речи по сетям электросвязи. – М.: Радио и связь, 1985.
- 8.2. Вегешна Ш. Качество обслуживания в сетях IP. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.
- 8.3. Соколов Н.А. Телекоммуникационные сети. – М.: Альварес Пабблишинг, 2004.

Лекция 9

Задачи анализа и проектирования ТфОП

*Plus usus sine doctrina, quam citra usum doctrina valet.
(Практика без теории ценнее, чем теория без практики)*

9.1. Основные направления исследований в телефонии

Эта лекция посвящена аспектам использования результатов научных работ для анализа, проектирования и эксплуатационного управления ТфОП. Исследования, проводимые с целью дальнейшего развития ТфОП и других телекоммуникационных сетей, могут быть представлены множеством разных направлений. На рис. 9.1 показана классификация направлений основных исследований, имеющих существенное значение для построения ТфОП, ее технической эксплуатации и дальнейшего развития. Структура сети существенно влияет на инвестиции, которые необходимы для создания системы телефонной связи. По этой причине задачи выбора структуры сети составляют одно из важнейших направлений в исследованиях, которые проводятся специалистами по ТфОП. Среди задач выбора структуры сети следует выделить три группы проблем:

- определение числа уровней иерархии в сети;
- оптимизация структуры транспортной и коммутируемой сети;
- поиск места установки коммутационной станции.

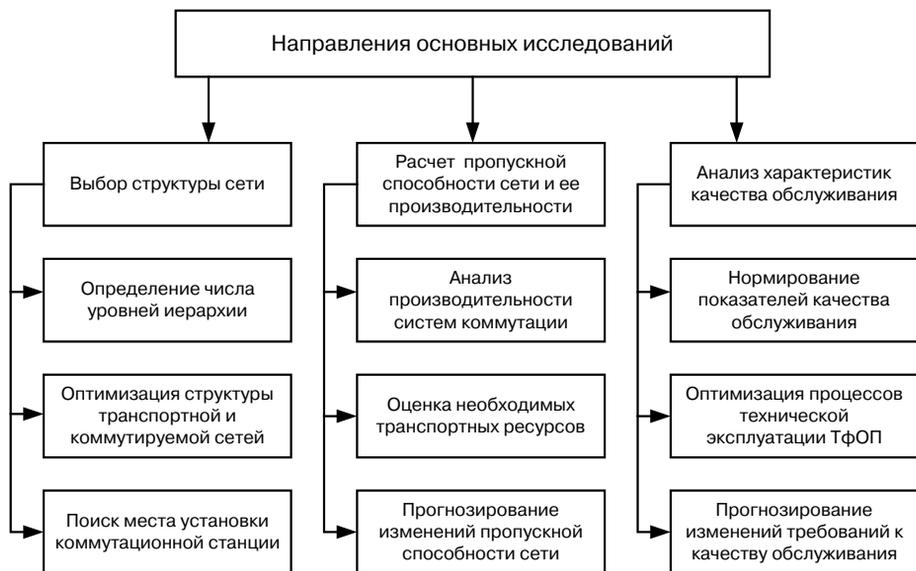


Рис. 9.1. Классификация основных направлений исследований, связанных с ТфОП

Существенная особенность задач, относящихся к выбору структуры сети, состоит в том, что возникающие ошибки исправить, как правило, очень сложно, а в некоторых случаях – невозможно. По этой причине математические методы выбора структуры ТфОП разрабатывались очень тщательно.

Второе направление исследований, связанных с вопросами построения и развития ТфОП, представлено задачами расчета *пропускной способности* и *производительности* как сети в целом, так и ее основных компонентов. Эти задачи стали стимулом развития теории массового обслуживания – математической дисциплины, успешно используемой специалистами многих отраслей знаний. Среди телефонистов более известно другое название – теория телетрафика. Задачи расчета пропускной способности сети на рис. 9.1 представлены следующими примерами:

- анализ пропускной способности систем коммутации;
- оценка необходимых транспортных ресурсов;
- прогнозирование изменений пропускной способности сети.

Производительность системы коммутации в телефонии чаще всего выражается количеством вызовов, которое обрабатывается в период наибольшей нагрузки (в общем случае – в единицу времени). В качестве меры такого периода обычно выбирают один час. Этим обусловлено возникновение термина «*час наибольшей нагрузки*» – ЧНН. Можно считать, что задачи оценки производи-

тельности связаны, в основном, с исследованием характеристик устройств управления системами коммутации и сетями в целом.

Пропускную способность оценивают разными величинами. Для коммутационных полей и пучков СЛ пропускная способность обычно измеряется в *Эрлангах*. В последнее время для транспортных ресурсов в качестве меры пропускной способности используется количество информации (например, битов или байтов), переданной за единицу времени (как правило, за секунду). В этом случае единицы измерений пропускной способности и скорости передачи совпадают. Оценку объема необходимых транспортных ресурсов можно считать одной из первых задач, возникшей при построении районированных телефонных сетей. Ее решение было предложено А.К. Эрлангом. На результатах, полученных этим ученым, базируется одна из важнейших ветвей теории телетрафика.

Развитие ТФОП, появление новых технологий, формирование спроса на различные виды услуг заметно влияют на пропускную способность сети. Для решения задач, которые связаны с пропускной способностью сети, необходимы прогностические оценки. Методы прогнозирования в электросвязи стали одним из важнейших инструментов исследования.

Третье направление исследований в области телефонии – анализ характеристик качества обслуживания. Абоненты ТФОП формируют субъективное мнение о качестве функционирования телефонной сети. Важнейшие аспекты восприятия абонентами ТФОП качества ее работы необходимо сопоставить с рядом показателей, которые могут быть измерены или оценены иным способом. Эти показатели должны быть нормированы в виде официальных документов, гарантирующих абонентам ГТС и СТС установленное качество обслуживания вызовов. К третьему направлению исследований, характерных для ТФОП, относится также оптимизация процессов технической эксплуатации. Система технической эксплуатации включает в себя совокупность технических и административных действий, обеспечивающих поддержание ТФОП (а также ее основных элементов) в состоянии, в котором она может выполнять заданные функции. В настоящее время издержки Оператора ТФОП, которые связаны с решением задач технической эксплуатации, весьма существенны. Именно по этой причине оптимизация соответствующих процессов стала актуальна. Требования абонентов ТФОП к качеству обслуживания постоянно изменяются. Таблица 8.2, которая приведена в предыдущей лекции, – наглядная иллюстрация этого процесса. Последний пример рассматриваемого направления исследований связан с прогнозированием подобных изменений.

В трех следующих разделах для каждого из перечисленных выше направлений исследований рассматривается ряд характерных примеров.

9.2. Место установки коммутационной станции и ее емкость

Задача, рассматриваемая в этом разделе, возникла на первом этапе построения ГТС, когда надо было принять решение о месте размещения – пока единственной – телефонной станции. Очевидно, что первое решение этой задачи датируется концом XIX века. Именно в конце позапрошлого века были созданы первые нерайонированные ГТС. Тем не менее, в технической литературе эту задачу обычно связывают с именем ученого, который предложил ее решение в середине XX века. В результате появилось выражение «Задача Раппа». В отечественной технической литературе до публикаций Раппа (Y. Rapp) был напечатан ряд работ, в которых предлагались интересные способы решения задачи выбора места для установки коммутационной станции.

В последние годы публикации, прямо или косвенно связанные с решением задачи Раппа, появляются крайне редко. Основная причина объясняется, по всей видимости, двумя обстоятельствами. Во-первых, для большинства ГТС и СТС редко возникает задача введения новой коммутационной станции. Обычно проблемы Операторов ТфОП заключаются в расширении емкости эксплуатируемых коммутационных станций, а также в их замене современными аппаратно-программными средствами. Во-вторых, стоимость сети доступа, построенной с выносными концентраторами, не столь существенно зависит от точности выбора места для установки коммутационной станции.

Это отнюдь не означает, что практическая ценность решения оптимизационных задач снижается. По мере эволюции ТфОП изменяется характер оптимизационных задач. Очевидно, что необходимо ставить и решать подобные задачи для тех элементов ТфОП, реализация которых связана с максимальными затратами Операторов.

Еще одна важная задача, возникающая при установке коммутационной станции, – выбор ее оптимальной емкости – N_{opt} .

На рис. 9.2 показаны три типичные функции $f_j(N)$, описывающие тенденции изменения стоимости основных элементов местной телефонной сети при изменении ее емкости – N . Все функции определяют затраты на подключение одного терминала к коммутационной станции.

Суммарные затраты на подключение одного терминала к коммутационной станции – $F(N)$ определяются очевидным соотношением:

$$F(N)=f_1(N)+f_2(N)+f_3(N). \quad (9.1)$$

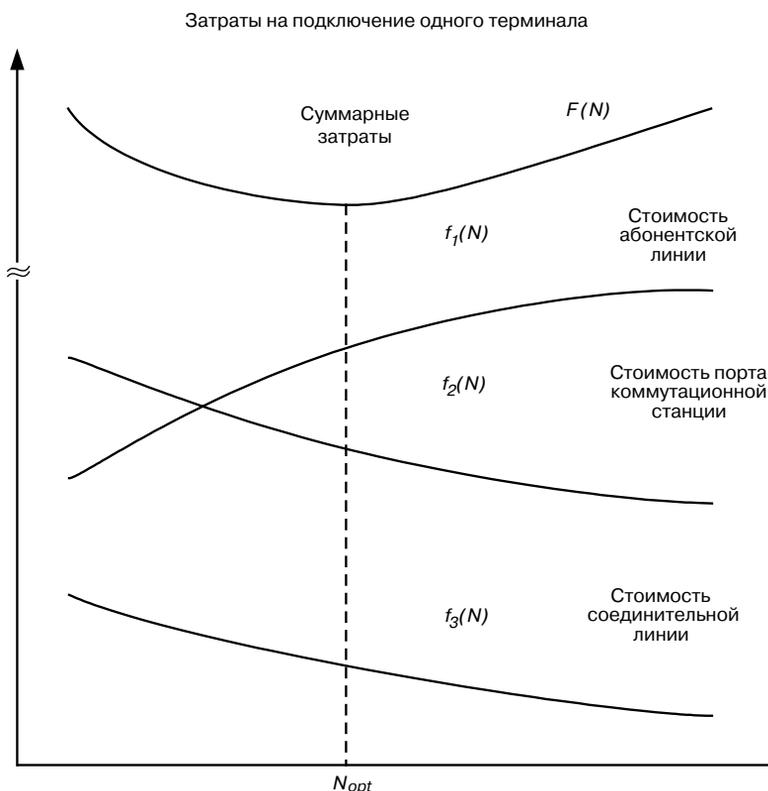


Рис. 9.2. Затраты на подключение терминала к коммутационной станции

Для определения оптимальной емкости коммутационной станции необходимо найти производную функции $F(N)$ и приравнять ее нулю. Решение полученного уравнения позволяет получить экстремумы функции $F(N)$. Для большинства функций $f_1(N)$, аппроксимирующих стоимостные зависимости отдельных элементов телефонной сети, существует один минимум функции $F(N)$.

Интересны также исследования, связанные с изменением функций $f_j(N)$ при смене технологий передачи и коммутации, а также в случае использования новых сред распространения сигналов. Статистические данные о развитии местных телефонных сетей за рубежом свидетельствуют, что в последнее десятилетие произошло заметное смещение величины N_{opt} вправо.

9.3. Оценка необходимых транспортных ресурсов

Одна из первых задач оценки необходимых транспортных ресурсов возникла при определении емкости пучка СЛ между двумя коммутационными станциями. Многие специалисты, занимающиеся историей электросвязи, считают, что возникновение теории телетрафика связано именно с этой задачей. В 1917 году датский ученый А.К. Эрланг опубликовал свою работу «Решение некоторых проблем теории вероятностей, особенно важных для автоматических телефонных станций». В этой работе содержалась формула, которая используется и в наши дни. Она определяет вероятность потери вызова – π в пучке СЛ емкостью V каналов, который обслуживает нагрузку с интенсивностью Y . Соответствующая модель показана на рис. 9.3 (возможность отказа в самом устройстве коммутации в этой модели не учитывается). В технической литературе она часто называется моделью полнодоступного пучка каналов. Такое название обусловлено тем, что вызов может быть обслужен любым свободным каналом.

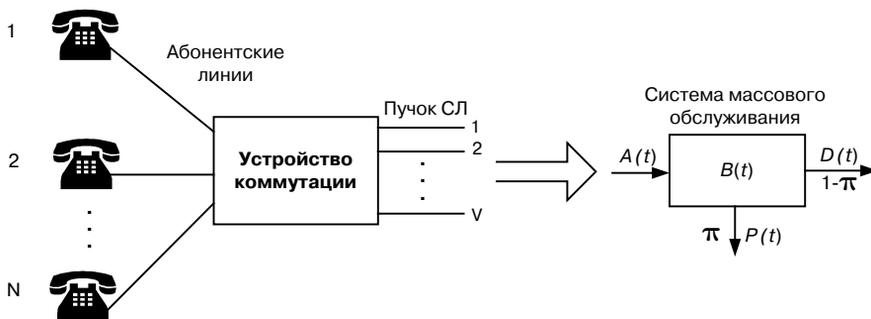


Рис. 9.3. Модель полнодоступного пучка каналов

Левая часть рисунка иллюстрирует модель полнодоступного пучка с точки зрения его технической реализации. Терминалы, численность которых равна N , включены по индивидуальным абонентским линиям в некое устройство коммутации. Это устройство при поступлении вызова ищет свободную СЛ. Всего в обслуживании находятся V СЛ. Если все они заняты, то вызов теряется.

В правой части показана модель полнодоступного пучка с точки зрения теории телетрафика. Этот пучок может рассматриваться как система массового обслуживания, на вход которой поступает поток вызовов. В теории телетрафика их принято называть заявками или требованиями. Поток заявок представляет собой случайный процесс.

Часто он может быть описан с помощью функции распределения длительности интервалов между поступающими заявками – $A(t)$. Время обслуживания заявок обычно является случайной величиной с функцией распределения $B(t)$. С вероятностью π заявка будет потеряна из-за отсутствия свободных СЛ. Это означает, что с вероятностью $1-\pi$ вызов будет успешно обслужен пучком СЛ. Оба возможных исхода могут быть представлены функциями распределения $P(t)$ и $D(t)$ соответственно.

А.К. Эрланг исследовал модель полнодоступного пучка, предполагая, что функции $A(t)$ и $B(t)$ являются экспоненциальными:

$$A(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad B(t) = 1 - e^{-\mu t}. \quad (9.2)$$

Величина λ – интенсивность входящего потока заявок. Она равна среднему количеству заявок, поступающих в единицу времени. Математическое ожидание (среднее значение) длительности интервалов между моментами поступления соседних заявок (оно обычно обозначается как $A^{(1)}$ или \bar{t}_A) определяется следующим соотношением:

$$A^{(1)} = \bar{t}_A = \frac{1}{\lambda}. \quad (9.3)$$

Величина μ – интенсивность обслуживания заявок. Она измеряется средним числом заявок, которое обслуживается в единицу времени. Математическое ожидание длительности обслуживания заявок ($B^{(1)}$ или \bar{t}_B) определяется по такой формуле:

$$B^{(1)} = \bar{t}_B = \frac{1}{\mu}. \quad (9.4)$$

Переменную λ иногда определяют произведением интенсивности потока вызовов одного источника – C и числа этих источников – N . Интенсивность поступающей нагрузки – Y с учетом введенных выше обозначений определяется произведением трех величин:

$$Y = NCB^{(1)}. \quad (9.5)$$

Величину интенсивности нагрузки стали оценивать в эрлангах (сокращенно – эрл). Для модели, показанной на рис. 9.3, А.К. Эрланг в 1917 году опубликовал следующую формулу:

$$\pi = \frac{Y^V}{V!} \cdot \frac{1}{\sum_{i=0}^V \frac{Y^i}{i!}}. \quad (9.6)$$

Иногда ее называют B -формулой Эрланга или первой формулой Эрланга. Вместо буквы π в ряде монографий встречаются обозна-

чения B и $E_V(Y)$. Как позднее доказал Б.А. Севастьянов, соотношение, полученное А.К. Эрлангом, справедливо для любого закона распределения длительности обслуживания заявок.

Сложность анализа систем телетрафика зависит от вида функций $A(t)$ и $B(t)$, а также от алгоритма обслуживания заявок. Существенен также и способ нормирования показателей качества обслуживания. Если показатель качества обслуживания нормируется только средним значением (математическим ожиданием), то анализ систем телетрафика обычно не сложен. Если нормируется параметр, для которого необходимо знать вид распределения случайной величины, то часто требуются сложные исследования.

9.4. Нормирование показателей качества обслуживания в ЧНН

Нормируемые показатели качества обслуживания выбираются так, чтобы они позволяли решить ряд задач. Во-первых, перечень выбранных показателей должен быть достаточен для обеспечения организационных и технических мероприятий, направленных на то, чтобы удовлетворить абонентов ТфОП качеством работы сети. Во-вторых, эти показатели должны контролироваться имеющимися в распоряжении эксплуатационной компании техническими средствами. В-третьих, затраты Оператора, связанные с контролем показателей качества обслуживания, должны быть приемлемыми с точки зрения допустимой суммарной величины эксплуатационных расходов.

На рис. 9.4 показана модель, используемая для объяснения ряда принципов, которые эффективны при нормировании показателей качества обслуживания. В модели вводится новый термин – узел коммутации (УК). Он применяется как общее понятие для коммутационных станций всех уровней иерархии в ТфОП.

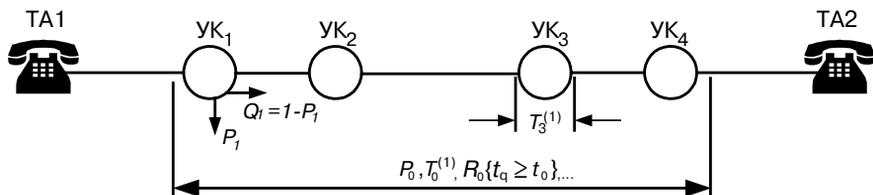


Рис. 9.4. Модель соединения двух терминалов ТфОП для нормирования показателей качества обслуживания

Предполагается, что соединение будет устанавливаться через четыре УК, в каждом из которых реализована «коммутация каналов». В ТФОП, использующей эту технологию, была установлена (с учетом мнения абонентов) совокупность показателей качества обслуживания. В нижней части рис. 9.4 указаны три показателя: P_0 , $T_0^{(1)}$ и $R_0\{t_q, \geq t_0\}$, которые определяют:

- вероятность потери вызова для сети в целом;
- среднее значение времени установления соединения;
- вероятность того, что время установления соединения

t_q – превысит некий уровень – t_0 .

В восьмой лекции, посвященной качеству обслуживания в ТФОП, были приведены формулы (8.1) и (8.2), позволяющие рассчитать величины P_0 и $T_0^{(1)}$ соответственно. Для нормирования представляет интерес и обратная задача: по нормам P_0 и $T_0^{(1)}$ определить требования ко всем элементам ТФОП. Например, для соединения, которое показано на рис. 9.4, необходимо найти допустимую среднюю задержку установления соединения в каждом k -ом УК – $T_k^{(1)}$. Для соединения, включающего в себя четыре УК, формулу (8.2) можно переписать в следующей редакции:

$$T_0^{(1)} = \sum_{k=1}^4 T_k^{(1)}. \quad (9.7)$$

Простейший способ определения значений $T_k^{(1)}$ состоит в том, чтобы специфицировать их как идентичные. Тогда задача выбора норм для величины $T_k^{(1)}$ решается элементарно:

$$T_k^{(1)} = \frac{T_0^{(1)}}{4}. \quad (9.8)$$

Такому подходу свойственен существенный недостаток. УК, которые участвуют в процессе установления соединения, выполняют разный объем операций, влияющих на время задержки $T_k^{(1)}$. Можно установить весовые коэффициенты так, чтобы учитывался «вклад» каждого УК в суммарную задержку $T_0^{(1)}$.

Существенно сложнее решить ту же задачу для показателей качества обслуживания вида $R_0\{t_q, \geq t_0\}$. Такой показатель в некой точке t_0 определяет значение функции распределения времени задержки в процессе установления соединения. Применительно к рассматриваемой модели необходимо найти выражения для функции распределения исследуемой случайной величины – $S_0(t)$. Длительность установления соединения для рассматриваемой модели складывается из четырех компонентов. Каждый компонент – это время, необходимое для выполнения операций в УК. Предположим, что значения времени выполнения необходимых операций в каж-

дом УК – взаимно независимые случайные величины. Если функция распределения длительности установления соединения для каждого j -го компонента известна – $S_j(t)$, то справедливо следующее соотношение:

$$S_0(t) = S_1(t) \odot S_2(t) \odot S_3(t) \odot S_4(t) . \quad (9.9)$$

Символ \odot указывает на операцию свертки функций. Даже предположив, что все функции $S_j(t)$ идентичны, весьма сложно вывести искомое распределение $S_0(t)$. Одним из способов решения задачи служит переход к преобразованию Лапласа-Стилтьеса, что позволяет упростить нахождение свертки функций. Например, для самой простой модели УК в виде однолинейной системы при условии, что распределения $A(t)$ и $B(t)$ определяются формулой (9.2), преобразование Лапласа-Стилтьеса функции $S_0(t)$, обозначаемое как $S_0^*(s)$, представимо следующим образом:

$$S_0^*(s) = \frac{(\mu_1 - \lambda_1)(\mu_2 - \lambda_2)(\mu_3 - \lambda_3)(\mu_4 - \lambda_4)}{[s + (\mu_1 - \lambda_1)][s + (\mu_2 - \lambda_2)][s + (\mu_3 - \lambda_3)][s + (\mu_4 - \lambda_4)]} . \quad (9.10)$$

Величины μ_j и λ_j определяют интенсивность обслуживания и поступления заявок для j -го УК соответственно. Если параметры трафика для всех четырех УК идентичны (вполне логичное предположение), то нижние индексы при величинах μ_j и λ_j можно опустить. Тогда выражение (9.10) упрощается:

$$S_0^*(s) = \frac{(\mu - \lambda)^4}{[s + (\mu - \lambda)]^4} . \quad (9.11)$$

Обратное преобразование позволяет получить выражение для расчета функции $S_0(t)$. Осуществляя необходимые операции, можно вывести следующую формулу:

$$S_0(t) = 1 - e^{-(\mu - \lambda)t} \sum_{i=1}^4 \frac{[(\mu - \lambda)t]^{i-1}}{(i-1)!} . \quad (9.12)$$

На рис. 9.5 приведены графики двух функций распределения. Функция $S_j(t)$ подчиняется экспоненциальному закону распределения. Функция $S_0(t)$ определяется выражением (9.12). Для обоих графиков введены идентичные условия $\mu=1$, а $\lambda=0,5$. Предполагается, что для функции $S_0(t)$ нормирована вероятность 0,95, с которой время установления соединения не должно превышать значение t_0 . Это означает, что введенная ранее вероятность $R_0\{t_q \geq t_0\}=0,05$.

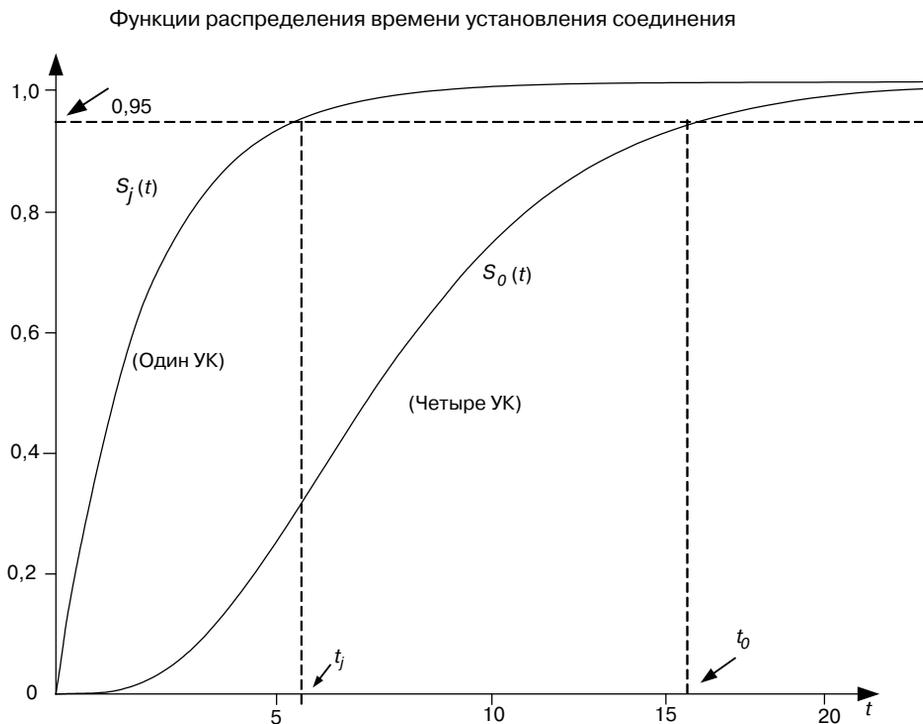


Рис. 9.5. Функции распределения времени установления соединения

Для функции $S_j(t)$ то значение t_j , которое не должно быть превышено с вероятностью 0,95, легко определяется графически. Значение t_j может быть получено и аналитически в результате решения уравнения $S_j(t)=0,95$ относительно переменной t . Такой подход может быть использован при условии, что для функции $S_0(t)$ определены все параметры трафика (например, необходимая интенсивность обслуживания μ для известной интенсивности входящего потока заявок λ).



Ключевые слова: пропускная способность, производительность, оптимизация, прогнозирование, вероятность, математическое ожидание, функция распределения, нормирование.



Контрольные вопросы

1. Влияет ли стоимость абонентских линий на величину оптимальной емкости АТС?
2. К какому направлению исследований ТфОП относятся задачи анализа производительности систем коммутации?
3. Как определяется интенсивность телефонной нагрузки?
4. Для какой модели А.К. Эрланг вывел формулу, позволяющую рассчитать вероятность потери вызовов?
5. Можно ли суммировать средние значения длительности задержки установления соединения в АТС, чтобы определить математическое ожидание этой случайной величины для сети в целом?
6. Верно ли следующее утверждение: если в каждой из двух АТС между терминалами абонентов вероятность потери вызовов равна 0,01, то вероятность успешного установления соединения составляет 0,98?
7. Когда применяется операция свертки функций распределения?



Задачи и упражнения

1. Определите вероятность потери вызовов в тракте из шести УК, если в каждом УК доля успешных попыток установить соединение равна 0,99.
2. Используя формулу (9.12), рассчитайте вероятность того, что длительность задержки заявок превысит две секунды при $\mu=1 \text{ с}^{-1}$ и $\lambda=0,5 \text{ с}^{-1}$.



Литература к лекции 9

- 9.1. Теория сетей связи: Учебник для вузов связи / Рогинский В.Н., Харкевич А.Д., Шнепс М.А. и др.; Под ред. В.Н. Рогинского. – М.: Радио и связь, 1981.
- 9.2. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979.
- 9.3. Острейковский В.А. Теория надежности. – М.: Высшая школа, 2003.

Лекция 10

Перспективы развития ТфОП

*Futura sunt in manibus deorum.
(Будущее в руках богов)*

10.1. Направления эволюции телефонии

Для телефонной связи начинается другая эпоха. По всей видимости, телефония станет одним из приложений мультисервисной сети, которая, в свою очередь, будет качественно изменяться в процессе своей эволюции. Подобное утверждение относится к долгосрочным прогнозам. Пока же имеет смысл ограничиться ближайшими пятью-десятью годами.

Эволюцию телефонии можно рассматривать с нескольких точек зрения. Причинами развития телефонии, как и других видов электросвязи, служит совокупность факторов, которые целесообразно разделить на две большие группы: внутренние и внешние – рис. 10.1. Внутренние факторы порождаются процессами естественного развития телефонии как одного из видов электросвязи. Внешние факторы обусловлены процессами, истоки которых, как правило, находятся вне системы телефонной связи.

Внутренние факторы определяют ряд системных и сетевых решений. Примеры системных решений представлены проблемами учета трафика и нумерации, а также введения новой функциональной возможности, связанной с оперативно-розыскной деятельностью.



Рис. 10.1. Классификация основных направлений развития телефонии

Из сетевых решений рассматриваются три направления: продолжение процесса цифровизации ТФОП, модернизация сети доступа и поддержка универсального обслуживания, что включено в Федеральный закон «О связи».

На дальнейшее развитие телефонии значительное влияние оказывают внешние факторы самого разного рода. Из них в данной лекции основное внимание уделяется четырем вопросам. Во-первых, становятся существенными изменения, которые связаны с организацией Операторской деятельности. Они, в свою очередь, происходят вследствие трансформации экономических отношений. Во-вторых, образуются группы абонентов с заметно различающимися требованиями к инфокоммуникационным услугам. Этот процесс также связан с объективными процессами развития экономики. В-третьих, усиливаются процессы интеграции и конвергенции, свойственные современному уровню развития электросвязи. В-четвертых, формируются предпосылки для перехода к NGN, что – отчасти – обусловлено процессами интеграции

и конвергенции (по этой причине между соответствующими блоками на рис. 10.1 пунктиром показана стрелка). Внешние факторы, судя по всему, приведут к тому, что телефонная сеть в ее нынешней форме перестанет существовать. Возможно, останутся некоторые привычные термины, отдавая дань одному из величайших достижений науки и техники конца XIX – начала XXI века.

10.2. Системные аспекты развития телефонной связи

Исторически сложилось так, что в России плата за соединения в пределах одной местной телефонной сети не зависела от объема трафика. Это правило не касалось исходящей связи с таксофонов, а также соединений с операторами рабочих мест платных информационно-справочных служб. Существует ряд положительных и отрицательных результатов подобной практики. Это подтверждает и зарубежный опыт.

На протяжении более чем столетней истории развития отечественной ТФОП не раз предпринимались попытки введения системы повременного учета соединений (СПУС), но практическая реализация этого масштабного проекта началась недавно. Пока сложно оценить целесообразность и эффективность этой акции, но можно говорить о потенциальном расширении функциональных возможностей системы телефонной связи. При грамотной реализации СПУС появляется возможность получения статистических данных о нагрузке тех видов коммутационного оборудования, которые не содержат средств для сбора соответствующей информации. Получаемые статистические данные нужны для прогнозирования трафика, для планирования сети и для ряда других целей.

Изменения в системе нумерации ТФОП обусловлены несколькими причинами, которые можно разделить на общие и частные. Общие причины свойственны всем местным телефонным сетям. Их типичный пример, упомянутый в пятой лекции, – переход на план нумерации, принятый в Европе. Он требует освобождения первой цифры «1» в планах нумерации всех ГТС и СТС. Частные причины связаны с условиями, сложившимися в конкретных местных телефонных сетях.

Последний пример изменения системных решений, принятых в ТФОП, связан с проведением оперативно-розыскных мероприятий. Для эффективной работы министерств и ведомств, занимающихся охраной правопорядка и обеспечением безопасности (граждан и государства) во многих странах введена в эксплуатацию система оперативно-розыскных мероприятий (СОРМ). Она предусматривает возможность перехвата информации при получении

официального разрешения. Реализация функций СОРМ – обязательное требование. Очевидно, что оно не изменяет основные функциональные возможности ТфОП. Тем не менее, оно позволяет ввести в ТфОП новые услуги.

10.3. Сетевые аспекты развития телефонной связи

До принятия Администрацией связи России окончательного решения о принципах перехода к NGN будет продолжаться цифровизация ТфОП. В истории цифровизации российской ТфОП можно выделить, по крайней мере, пять аспектов, которые не были свойственны процессам модернизации большинства других национальных телефонных сетей.

Во-первых, цифровизация ТфОП длительное время проводилась преимущественно в городах. Во многих странах цифровое коммутационное оборудование в первую очередь устанавливалось в междугородной телефонной сети. В российской ТфОП аналогичный процесс начался позже (относительно старта цифровизации ГТС), но был завершён в сжатые сроки. Правда, вследствие географических особенностей страны транспортная сеть не могла быть модернизирована столь же быстро.

Во-вторых, темпы цифровизации, по разным объективным и субъективным причинам, были и остаются не столь высокими, как бы хотелось Операторам и другим участникам инфокоммуникационного рынка. За двадцать лет с момента установки первой цифровой коммутационной станции в 1984 году уровень цифровизации достиг отметки 60%. Темпы цифровизации в большинстве других стран были существенно выше.

В-третьих, достигнутый уровень цифровизации ТфОП заметно различается по уровням иерархии. В междугородной сети практически достигнута 100%-я цифровизация. Зато в сельской местности этот показатель на порядок ниже.

В-четвертых, в городах – по крайней мере, в начале процесса цифровизации – преимущественно использовались коммутационные станции такой же емкости, что и аналоговые АТС. Практически во всех других странах Операторы стали устанавливать цифровые коммутационные станции большой емкости, используя для построения сети доступа выносные концентраторы.

В-пятых, использование нестандартных (относительно рекомендованных ИТУ-Т) систем сигнализации привело к необходимости доработки программного обеспечения импортных коммутационных станций. Это привело к росту затрат на коммутационное оборудо-

вание. С некоторым опозданием началось применение в цифровой части ТФОП системы общеканальной сигнализации.

Можно сказать, что к началу XXI века большинство отличий, перечисленных выше, уже не столь существенны. Только низкие темпы цифровизации СТС и не столь частое применение коммутационных станций большой емкости в ГТС еще свойственны российской ТФОП. Завершится ли процесс цифровизации в том же виде, какой можно было наблюдать в большинстве развитых стран? Этот важный вопрос будет обсуждаться в заключительном разделе этой лекции.

Цифровизация местных телефонных сетей практически не затронула сети доступа. Этот компонент телефонной сети имеет ряд специфических особенностей. Капитальные затраты на его реализацию составляют 20 – 30% от суммарных инвестиций на построение ТФОП. Использование этих дорогих ресурсов оставляет желать лучшего: в ЧНН абонентская линия, в среднем, занята шесть минут (эта величина более известна по интенсивности трафика 0,1 Эрл, которая используется при планировании сети доступа). Кроме того, сеть доступа представляет собой один из самых ненадежных компонентов ТФОП. По международной статистике 25% всех нарушений связи обусловлено отказами в сети доступа.

Сети доступа создавались Операторами ТФОП для передачи речи. Это означает, что эксплуатируемые сети доступа предназначались для обмена информацией в полосе пропускания канала ТЧ. Такое положение было вполне приемлемо при использовании сети доступа для телефонной связи, а также как транспортных ресурсов в системах охранной сигнализации, абонентского телеграфирования и среднескоростной передачи данных. Ситуация радикально изменилась в конце XX века, когда сформировался – у некоторой группы абонентов ТФОП – платежеспособный спрос на широкополосный доступ. В результате появилось семейство технологий xDSL.

Еще одним важным направлением развития ТФОП, отнесенным на рис. 10.1 к сетевым решениям, стала реализация универсального обслуживания. В законе «О связи» оно названо универсальными услугами. Соответствующему англоязычному термину «Universal Service», судя по его использованию в документах ИТУ и в ряде публикаций, в последнее время придается несколько иной смысл – одинаковое обслуживание. Это словосочетание трактуется как идентичность обслуживания абонентов города и сельской местности, включая ее отдаленные пункты, в которых может проживать несколько человек или даже один.

Очевидно, что сложности реализации универсального обслуживания проявляются именно при анализе возможных решений для отдаленных пунктов. Положение, как правило, усугубляется

проблемами с обеспечением устойчивого электропитания средств доступа и с организацией технического обслуживания установленного оборудования. Для организации связи в большинстве отдаленных пунктов невозможно или нецелесообразно использовать кабельные линии связи.

В настоящее время для введения универсального обслуживания предполагается установка таксофонов, до которых можно добраться в течение часа без использования транспортных средств. В поселениях с числом жителей свыше пятисот человек должен быть организован, как минимум, один коллективный пункт доступа в Интернет. Проблемы, возникающие перед Оператором ТфОП при организации связи в отдаленных пунктах, отличаются высокой сложностью. В ряде стран приняты программы разработки оптимальных решений для введения универсального обслуживания. Эти вопросы находятся в поле зрения ИТУ. Им предложен ряд вариантов экономического решения задач организации связи в отдаленных пунктах.

10.4. Пример воздействия внешних факторов: переход к NGN

На рис. 10.1 перечислен ряд внешних факторов развития ТфОП. Первый из них связан с изменениями принципов Операторской деятельности. Интересны два процесса.

Первый процесс – появление новых Операторов ТфОП в начале 90-х годов XX века. Эти Операторы обслуживали сравнительно малочисленные абонентские группы, предоставляя им, в первую очередь, высококачественные коммутируемые соединения для телефонной связи, для передачи факсимильных сообщений и для модемного доступа в Интернет.

Второй процесс связан с монополизацией рынка междугородной и международной телефонной связи. Оба процесса привели и к положительным, и к отрицательным последствиям. В целом, они способствовали развитию ТфОП, но не стимулировали тех радикальных изменений, которые характерны для других внешних факторов эволюции телефонии. Расслоение клиентской базы Оператора ТфОП можно рассматривать с двух точек зрения. Если деление абонентов на группы связано только с долей доходов, порождаемых разными объемами исходящего трафика и услугами, которые характерны для телефонии, то радикальные изменения в ТфОП вряд ли нужны. Если же деление абонентов на группы обусловлено требованиями услуг, выходящих за пределы функциональных возможностей ТфОП, то возможны два основных решения.

Первое решение – построение еще одной сети для поддержки тех услуг, которые невозможно или нецелесообразно поддерживать за счет модернизации ТфОП. Не исключено, что придется создавать несколько таких сетей.

Второе решение заключается в радикальной модернизации ТфОП, которая должна быть направлена на поддержку практически неограниченного набора услуг. Более того, в «обновленной» ТфОП следует предусмотреть возможность заключения SLA, о которых говорилось в предыдущих лекциях.

Операторы ТфОП, как, впрочем, и другие участники инфокоммуникационного рынка, склоняются ко второму решению. Целесообразно выделить несколько важных движущих сил, стимулирующих переход к NGN. Заключение соглашений SLA отражает стремление определенной группы абонентов (их часто называют новаторами) к новому уровню обслуживания (с точки зрения качественных показателей) и к широкому спектру инфокоммуникационных услуг.

Из множества других движущих сил перехода к NGN следует выделить процессы интеграции и конвергенции, свойственные современному этапу развития электросвязи. Современные интеграционные процессы, в первую очередь, выражаются в экономической целесообразности объединения сетей или их ресурсов. В последнем случае, вероятно, уместнее говорить о консолидации, которая выражается в частичной интеграции сетей или систем.

Примером первых интеграционных процессов можно считать системно-сетевые решения по организации связи в сельской местности, которые были изложены в седьмой лекции.

Цифровизация ТфОП многими специалистами рассматривается как процесс интеграции систем передачи и коммутации. Такая трактовка цифровизации вследствие перевода АЦП из оборудования передачи в абонентский комплект местной станции вполне правомерна. Самым характерным примером интеграционных процессов служит концепция ISDN. В ней заложена возможность интеграции нескольких сетей.

Концепция ISDN поначалу рассматривалась как основное направление развития ТфОП. Вскоре стало очевидным, что рынок ISDN ограничен. В первую очередь, это касается численности абонентов ТфОП, которые готовы оплачивать функциональные возможности ISDN. В результате к интеграционным процессам стали относиться с некоторой осторожностью. В частности, при формировании концепции NGN термин «интеграция» стараются не упоминать. С другой стороны, одна из основных целей NGN – рис. 10.2 – классическая интеграция сетей.

Сети, которые были построены для телефонной связи, обмена данными, а также телевизионного и звукового вещания, могут слиться в одну сеть, основанную на концепции NGN (эти вопросы частично отражены в двадцатой и тридцатой лекциях).

Существенно то, что NGN способна обслуживать трафик речи, данных и видео. Такая возможность породила термин «triple-play services», указывающий на способность NGN поддерживать услуги, связанные с тремя формами представления информации: речь (звук), данные и видео.

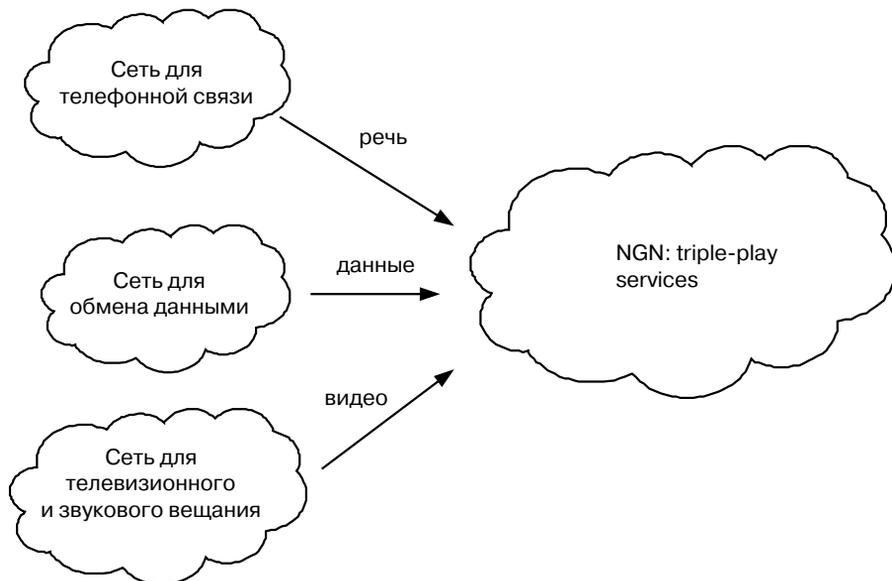


Рис. 10.2. Концепция NGN как процесс интеграции сетей

Чаще этот аспект концепции NGN связывают с процессами конвергенции. Это не совсем корректно с точки зрения основного значения термина «конвергенция», которое определяется как возникновение сходства в строении и функциях у систем, изначально далеких по происхождению и назначению. Процессы конвергенции можно рассматривать как сближение функциональных возможностей различных сетей в процессе их эволюции. Динамику процессов конвергенции можно проследить на примере развития двух сетей – фиксированной и подвижной связи. При этом для каждой сети целесообразно ввести два этапа ее эволюции, условно определяемых системой понятий «вчера и сегодня». В табл. 10.1 приведен ряд примеров реализации услуг в обеих сетях на двух этапах их развития. Для сети подвижной связи использованы данные, присущие стандарту GSM.

Таблица 10.1. Реализация услуг в сетях фиксированной и подвижной связи

Вид услуги электросвязи	Сеть фиксированной связи		Сеть подвижной связи	
	Этап I	Этап II	Этап I	Этап II
телефонная связь	Да ^{а)}	Да ^{а)}	Да	Да
обмен данными:				
со скоростью до 56 кбит/с	Не всегда ^{б)}	Да ^{в)}	Нет	Да ^{г) д)}
со скоростью выше 56 кбит/с	Нет	Да	Нет	Да ^{а) е)}
поддержка услуг ISDN	Нет	Да ^{в)}	Нет	Да ^{в)}
подача программ телевидения	Нет	Да ^{ж)}	Нет	Частично ^{з)}
мобильность терминала	Нет	Частично ^{и)}	Да	Да

Примечания к таблице 10.1:

- а) подразумевается телефонная сеть общего пользования;
- б) этап I связан с периодом времени, когда не поддерживались услуги ISDN;
- в) этап II начинается с момента введения функциональных возможностей ISDN;
- г) этап II начинается с введения функций GPRS;
- д) информация о технологиях приведена в лекциях по мобильной связи;
- е) предполагается, что введены функции EDGE и Wi-Fi;
- ж) реализуется в сетях передачи программ телевидения и – частично – в Интернет;
- з) услуги поддерживаются не в полном объеме;
- и) мобильность терминала ограничивается стандартом беспроводной связи.

Сведения, приведенные в табл. 10.1, отражают основной смысл конвергенции: функциональные возможности сетей фиксированной и подвижной связи сближаются. Очевидно, что некоторые функциональные возможности становятся идентичными. Такая ситуация складывается, например, со скоростью обмена данными. С другой стороны, различие размеров дисплея мобильного телефона и экрана персонального компьютера не позволяет сравнивать эффективность многих видов работы для этих терминалов. Точно так же и постоянное расширение функций мобильности терминалов фиксированной сети не корректно сравнивать с аналогичными возможностями сотовых телефонов.

Близость многих функциональных возможностей для терминалов фиксированной и подвижной связи открывает новые возможности их совместного использования. Один из характерных примеров – смена сети при перемещении терминала – рассматривается в лекциях по подвижной связи.

В предыдущем разделе этой лекции был сформулирован вопрос о завершении процесса цифровизации ТФОП в России. Действительно, у Оператора ТФОП есть два основных пути развития эксплуатируемой инфокоммуникационной системы. Первый из них состоит в использовании варианта модернизации ТФОП, апробированного в развитых странах. Сначала полностью завершился процесс цифровизации ТФОП. Вскоре появились объективные предпосылки для формирования NGN. Второй путь базируется на так называемом «преимуществе отстающего». Это словосочетание означает, что идущий с опозданием может проанализировать все достоинства и недостатки тех, кто шел впереди. В результате, он может принимать более взвешенные решения.

Практическая реализация «преимущества отстающего» иллюстрируется на рис. 10.3. В верхней части рисунка показаны основные этапы первой стратегии модернизации инфокоммуникационной системы. Они отражают историю эволюции системы телефонной связи в развитых странах. В нижней части рисунка изображены основные этапы второй стратегии модернизации инфокоммуникационной системы. Эта стратегия более похожа на вероятный путь эволюции ТФОП в России.

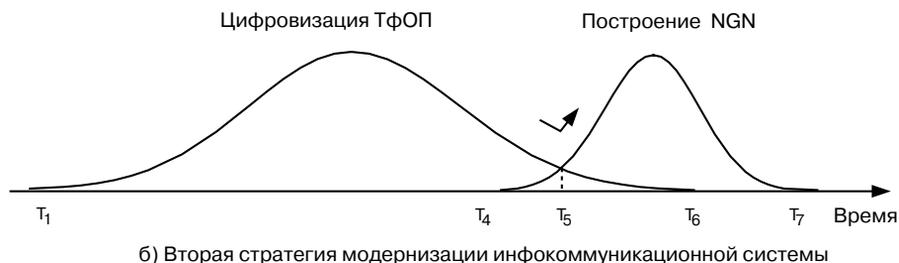
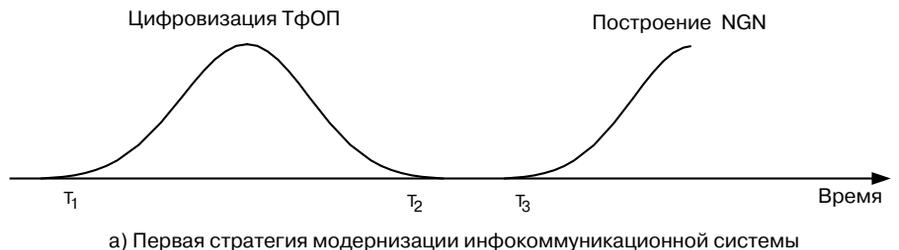


Рис. 10.3. Две стратегии перехода от ТФОП к сети следующего поколения

Для первой стратегии между точками завершения процесса цифровизации ТФОП – T_6 и началом формирования NGN – T_4 можно видеть некоторую паузу, в течение которой отсутствуют радикальные преобразования инфокоммуникационной системы.

Для второй стратегии развития инфокоммуникационной системы характерна иная ситуация. Формирование NGN начинается задолго до момента ожидаемого завершения процесса цифровизации ТФОП – точки T_4 и T_6 соответственно. Возникает резонный вопрос: не следует ли в некоторой точке T_5 прекратить цифровизацию ТФОП, форсировав создание NGN? Фактически такой подход (он обозначен ломаной линией со стрелкой) означает радикальное изменение принципов модернизации ТФОП за счет новых технологий коммутации и передачи. С другой стороны, его можно считать примером «преимущества отстающего». Тогда удастся сократить отставание в развитии национальной инфокоммуникационной системы. Это означает, что процесс завершения формирования NGN (точка T_7) может быть ускорен.

Ответ на поставленный вопрос можно считать утвердительным. Практическая ценность рассмотренного решения в значительной мере будет определяться величиной $\Delta T = T_5 - T_4$. Если она существенна, а точки T_5 и T_6 близки друг к другу, то смысл разработки концепции форсированного создания NGN теряется. С учетом нынешних, сравнительно медленных, темпов цифровизации российской ТФОП использование «преимущества отстающего» представляется перспективным.

Соображения, изложенные в этой лекции, не охватывают всех аспектов, которые прямо или косвенно связаны с перспективами развития телефонии. Тем не менее, они дают представление о главных направлениях развития ТФОП на ближайшее десятилетие.



Ключевые слова: цифровизация, интеграция, конвергенция, стратегия модернизации ТФОП, соглашение об уровне обслуживания, мультисервисная сеть, сеть следующего поколения, инфокоммуникационная система.



Контрольные вопросы

1. Перечислите внешние и внутренние факторы, стимулирующие развитие телефонии.
2. Сохранится ли ТФОП как полностью самостоятельная сеть в долгосрочной перспективе?

3. Как повлияют соглашения об уровне обслуживания на развитие сетей связи?
4. Какой уровень иерархии ТфОП практически полностью построен на базе цифровой коммутационной техники?
5. Смогут ли перечни услуг, предоставляемых сетями фиксированной и подвижной связи, стать практически полностью идентичными?
6. За счет чего может быть ускорен переход к сети следующего поколения?
7. Какие качественно новые возможности существуют в сети следующего поколения по сравнению с услугами, поддерживаемыми ТфОП?



Задачи и упражнения

1. Детализируйте модель, показанную на рис. 10.1, определив основные процессы для тех факторов, которые рассматривались в предыдущих лекциях.
2. Попробуйте сформулировать сценарий развития ТфОП, отличающийся от концепции сети следующего поколения.



Литература к лекции 10

- 10.1. Кох Р., Яновский Г.Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи // М.: Радио и связь, 2001.
- 10.2. Соколов Н.А. Телекоммуникационные сети. – М.: Альварес Пабблишинг, 2004.
- 10.3. Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации. – М.: Эко-Трендз, 2008.

Часть 2
Сети
ПОДВИЖНОЙ
СВЯЗИ

Лекция 11

Эволюция систем радиосвязи

Пусть расцветают сто цветов и соперничают сто школ.
Конфуций

11.1. Конвергенция сетей подвижной и фиксированной связи

Именно по аналогии с указанным в эпитафии тезисом развивались и соперничали разнообразные технологии подвижной радиосвязи. Несмотря на их относительную молодость, *сети подвижной связи (СПС)* проникли сегодня во все сферы жизни – в быт, политику, бизнес, развлечения, безопасность и так далее. Их влияние на современное постиндустриальное общество трудно переоценить, кое-кто может считать это влияние потенциально пагубным (например, меньше становится возможностей для частной жизни, то есть для того, что сейчас часто называют прайвеси), но все согласятся, что оно является революционным.

Наряду с этим революционным влиянием СПС имеет место еще одна тенденция, определяющая ближайшее будущее сегодняшних телекоммуникаций – *конвергенция* фиксированных и мобильных сетей (*Fixed-Mobile Convergence, FMC*), о которой говорилось во вводной лекции и которая представлена там на рис. 0.2.

Не так громко, но все же весьма активно обсуждается и другая аббревиатура – *FMS (Fixed-Mobile Substitution)* – замена фиксированных сетей сетями подвижной связи. Это отнюдь не означает, что предыдущие десять лекций части 1 можно сразу же забыть, а единственно важными являются как раз лекции части 2.

Отличительными характеристиками всего класса систем подвижной радиосвязи является мобильность хотя бы одного из абонентов и отсутствие проводного соединения между абонентским терминалом и коммутационным оборудованием сети связи. При некоторой ограниченности этого утверждения оно исчерпывающе описывает принципиальные отличия следующих десяти лекций от материала части 1. Сам класс систем современной радиосвязи весьма широк. Помимо вынесенных в общий заголовок сетей подвижной связи в этот класс входят системы, кратко рассматриваемые в следующем разделе этой лекции.

11.2. Системы радиосвязи

11.2.1. Беспроводные телефонные системы

Появившиеся в самом начале 80-х годов прошлого века беспроводные телефонные системы вместо проводов между телефонным аппаратом и трубкой использовали радиоканал, сохраняя функциональные возможности и качество связи обычного проводного телефона. Зона радиопокрытия базовой станции в силу малой мощности последней ограничивалась пространством офиса или квартиры.

Наиболее известным стандартом беспроводной телефонии является разработанная ETSI *цифровая усовершенствованная беспроводная связь DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)*, сменившая беспроводные телефоны второго поколения *CT-2 (Cordless Telephony-2)*.

Первые спецификации DECT были опубликованы ETSI в 1992 г., а в 1997 г. появился базовый профиль DECT, поддерживающий телефонную связь в диапазоне 1880-1900 МГц.

11.2.2. Пейджинговые системы

Пейджинговые (paging) системы, официально называемые системами персонального радиовызова, обеспечивают одностороннюю связь от центральной базовой станции к мобильному абонентскому пейджеру, куда та пересылает адресованные владельцу этого пейджера сообщения. Сообщение имеет вид последовательности буквенно-цифровых символов.

11.2.3. Транкинговые системы

Основные области применения *транкинговых систем подвижной связи* – корпоративные и ведомственные сети, такси, милиция, аварийные службы, автомобильные компании и т.п. В такой системе предусматривается определенное количество радиоканалов для всех ее пользователей; из этого количества один радиоканал выделяется каждому абоненту на время соединения.

Первая советская транкинговая система радиотелефонной связи «Алтай» начала эксплуатироваться в середине 60-х годов прошлого века, набрав к концу 80-х годов более 20 тысяч абонентов. Наиболее распространенными аналоговыми профессиональными транкинговыми системами являлись системы стандарта MPT 1327, поддерживающие метод доступа к системе, называемый *синхронная ALOHA с динамической длиной кадра (Dynamic Framelength Slotted ALOHA)*.

Цифровые транкинговые системы TETRA (*Trans European Trunked Radio*) стандартизованы ETSI в начале 90-х годов. Они предусматривают передачу как речи, так и данных, обеспечивая более высокую спектральную эффективность по сравнению с аналоговыми транкинговыми системами, лучшее использование частот, более высокую скорость передачи данных, цифровое кодирование речи с возможностью шифрования. TETRA позволяет коммутировать каналы и пакеты, передавать короткие сообщения, получать доступ в Интернет, поддерживать услуги телеметрии, передачу данных и видеоинформации.

11.2.4. Беспроводные компьютерные сети

Как и в бесшнуровых телефонах, беспроводный доступ к локальным компьютерным сетям *WLAN (Wireless Local Area Networks)* характеризуется ограниченной зоной покрытия и небольшой излучаемой мощностью. Более широкое распространение, в том числе и в быту, приобрел *стандарт Bluetooth*, название которого происходит от имени датского короля Синезуба, правившего в X веке. Устройства Bluetooth работают в диапазоне 2.45 ГГц при малом радиусе действия и встраиваются в персональные компьютеры, MP3-проигрыватели, фото- и видеокамеры, мобильные телефоны.

11.2.5. Спутниковая связь

В 1947 году известный писатель-фантаст Артур Кларк опубликовал научный доклад, в котором высказал предположение, что среди возможных орбит спутников на разном удалении от поверхности Земли есть такие орбиты, на которых спутник сможет служить хорошим инструментом для радиокommunikаций. Чуть позже были начаты первые эксперименты со спутниками на низких околоземных орбитах: то есть спутники находились на сравнительно малом удалении от земной поверхности и вращались вокруг Земли гораздо быстрее, чем Земля вращается вокруг своей оси. Кларк высказал идею послать спутник на более высокую, так называемую геостационарную орбиту, где он будет вращаться вокруг Земли точно с такой же скоростью, с какой Земля вращается вокруг своей оси, то есть может являться коммуникационным узлом, фактически висящим неподвижно над заданной точкой Земли.

В соответствии с этой теорией в СССР, а затем и в США уже в конце 50-х годов были запущены первые экспериментальные спутники. С тех пор на орбиту было выведено большое количество коммерческих спутников для поддержки телефонии общего пользования, а также телевидения. И если первые спутники связи могли обслуживать лишь 240 телефонных каналов, то сегодня с помощью спутниковой связи обслуживается значительная часть междугородного телефонного трафика и практически все телепередачи.

11.2.6. Системы сотовой связи

Именно о сотовой связи, разработанной для поддержки мобильности абонентов и для увеличения пропускной способности радиотелефонии путем использования нескольких передатчиков и приемников ограниченной мощности и ограниченного радиуса действия, но с многократным использованием частот, будет рассказано в следующих девяти лекциях части 2.

11.3. Краткий исторический экскурс

Опыты с передачей радиосигналов на расстояние, которые начал в 1888 году Генрих Герц (и которые послужили основанием переименования в его честь единицы частоты, ранее обозначавшейся как количество циклов в секунду), успешно продолжили Никола Тесла, Александр Попов, Гульельмо Маркони.

Благодаря их изобретениям к моменту возникновения мобильной радиосвязи все технически важное для нее уже было известно. В 20-х годах прошлого века произошел новый прорыв в технологиях беспроводной связи – появились системы связи с амплитудной модуляцией (*AM*), а затем – и с частотной модуляцией (*FM*).

Первые случаи применения мобильной радиосвязи с частотной модуляцией имели место уже в 1940-х годах и помогали обеспечивать связь во время Второй мировой войны. Эти разработки были продолжены в мирное время, и в 1950-х годах услуга мобильной телефонии в ограниченной степени стала доступной в некоторых больших городах.

Однако такие системы обладали небольшой емкостью, имели место существенные ограничения и в географии, и в применениях, связанных с мобильной радиосвязью. Эти ограничения были обусловлены проблемами обмена радиосигналами с единственной центральной станцией, обслуживавшей небольшое количество абонентов, антенны которых в нашей стране украшали в свое время крыши наиболее престижных в те годы автомобилей – черных «Волг». Обмен радиосигналами с одной и той же центральной радиостанцией существенным образом сдерживал развитие мобильной радиосвязи.

Принципиальный прорыв в устранении этих ограничений стал возможен благодаря изобретению сотовой связи. Именно принципы сотовой связи позволили преодолеть ограничения, накладываемые мобильной радиосвязью, не внося никаких существенных изменений в радиодоступ. Изменилась «только лишь» *сетевая архитектура* (в книге уже не раз подчеркивалось и сейчас опять подчеркивается определяющее значение именно сетевого аспекта, изучаемого в нашем курсе «Сети связи»). Таким образом, сеть подвижной связи стала строиться на совершенно новых сетевых принципах:

- разделение области охвата мобильной радиосвязью на отдельные зоны, называемые сотами;
- наличие значительного количества радиопередатчиков (как минимум, по одному на соту¹) низкой мощности с небольшими зонами передачи сигналов;
- повторное применение частот в несмежных сотах, позволяющее повысить эффективность использования выделенного частотно-диапазона;
- централизованное управление обслуживанием вызовов для обеспечения мобильной связи при перемещении подвижного абонента из соты в соту.

11.4. Основные понятия и термины

Рассматриваемые в части 2 сети связи в технической литературе называются сетями *подвижной, мобильной* или *сотовой* связи. Все три термина, как правило, используются как синонимы, хотя в самое последнее время намечаются некоторые расхождения.

Дело в том, что беспроводные технологии, наряду с сотовыми телефонами и смартфонами, активно осваивают огромный рынок ноутбуков и КПК, пользователям которых необходима высокая скорость передачи данных при ограниченной мобильности в отношении как скорости передвижения, так и непрерывности связи.

Здесь возможности русского языка дают нам предложенную в [18] возможность называть *мобильным* все, что можно переносить и через что можно выходить в сеть связи в любом месте, а *подвижной* – традиционную *сотовую* связь.

Термин *сотовая (cellular)* означает, что сеть разделена на ряд сот – ячеек, географических участков, как показано на рис. 11.1. Каждой соте назначается частотный диапазон, который можно повторно использовать в других сотах.

В каждой соте имеется своя *базовая станция BS (Base Station)*, которая содержит радиопередатчик и радиоприемное оборудование и обеспечивает радиосвязь с теми мобильными телефонами, которые оказываются в данной соте.

¹ Во всех словарях литературного русского языка слово сот – мужского рода. Тем не менее, чтобы быть понятными читателями, авторы следуют устоявшейся в отрасли терминологии, где это слово принято употреблять в женском роде – сота.

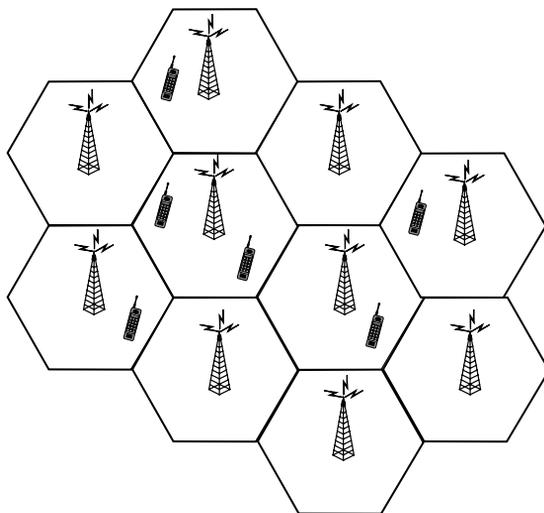


Рис. 11.1. Соты в СПС

Зона охвата соты зависит от ряда таких факторов, как мощность передатчика базовой станции, мощность передачи мобильного телефона, высота антенны базовой станции, топология местности. Кроме того, размеры сот варьируются и потому, что каждая сота может обслуживать только ограниченное количество сотовых телефонных аппаратов, которые носят название *мобильных терминалов* или *мобильных станций MS (Mobile Station)*², обычно – от 600 до 800, то есть соты становятся меньше в зонах с более высокой плотностью населения. Охват соты может лежать в пределах от всего лишь 100 метров до десятков километров. Поясним причину выбора шестиугольной формы сот, как это представлено на рис. 11.1.

С первого взгляда, более естественными могли бы показаться квадратные соты или, например, соты, соответствующие кварталам городской застройки. Однако каждая квадратная ячейка со стороной a будет иметь четыре граничащие с ней стороны ячейки на расстоянии a от ее центра до центров этих четырех ячеек, а также еще четыре другие граничащие с ней ячейки, расстояние от ее центра до центров которых по теореме Пифагора равно $a\sqrt{2}$.

Такая конфигурация создает очевидные проблемы для переключения на новую антенну абонента при его движении от центра данной ячейки. Очевидно, что для эффективного переключения весьма желательно, чтобы центры всех ячеек, граничащих с данной, были на одинаковом расстоянии от ее центра.

Из школьного курса геометрии известно, что равное расстояние между центрами смежных ячеек достигается при шестиугольной их конфигурации, когда радиус α окружности, описанной вокруг шес-

² В технической литературе чаще используется термин *мобильная станция*, то есть прямой перевод английского Mobile Station (MS). Смыслу этой книги, описывающей конвергенцию сетей ТФОП, СДЭ и СПС, более соответствует термин *мобильный терминал*, который и используется здесь.

тиугольника, равен длине стороны шестиугольника и расстоянию от центра шестиугольной ячейки до каждой из ее вершин. При такой сетевой конфигурации расстояние между центром ячейки и центром любой смежной ячейки равняется $\alpha\sqrt{3}$, а антенны граничащих с ней ячеек находятся на равных расстояниях друг от друга вне зависимости от направления перемещения мобильного абонента.

Несколько базовых станций подсоединены к *контроллеру базовых станций BSC (Base Station Controller)*, который содержит логику управления каждой из этих станций. Все BSC подсоединены к *центру коммутации подвижной связи MSC (Mobile Switching Center)*, который управляет установлением соединений к мобильным абонентам и от них. MSC предоставляет те же функциональные возможности, что и рассмотренный в части 1 стандартный коммутатор ТфОП, но еще поддерживает и ряд специальных функций для мобильной связи. В частности, MSC должен содержать собственную логику, чтобы иметь дело с мобильными станциями и поддерживать функции *хэндовера* и *роуминга*.

Если во время соединения мобильный абонент перемещается из одной соты в другую, очевидно, что управление обслуживанием вызова должно перепоручаться новой соте (точнее, ее базовой станции). Этот процесс и называют *хэндовером (handover или handoff)*. Заметим, что термин *handoff* обычно используют применительно к стандартам AMPS и D-AMPS, речь о которых в лекции 12, а термин *handover* используется применительно к рассматриваемой в лекции 13 системе GSM, но оба эти термина являются синонимами.

Пример сценария *хэндовера* изображен на рис. 11.2. Этот рисунок иллюстрирует революционное значение хэндовера, позволившее вместо часто обыгрываемой в старых детективных фильмах ситуации, когда герой по указанию злоумышленника перебегает от одного уличного телефона-автомата к другому, спокойно разговаривать этому герою по мобильному телефону в движущемся автомобиле.

Фактически, *хэндовер* означает переключение абонента с одного радиоканала и/или временного интервала на другой радиоканал или временной интервал, как правило, без уведомления абонента об этом изменении. Если интенсивность сигнала падает ниже заданного уровня, то есть, по-видимому, пользователь перемещается в другую соту или приближается к границе текущей соты, то предполагается, не принимает ли соседняя сота сигнал с более высоким уровнем, и если это так, обслуживание мобильного абонента переключается на эту соту.

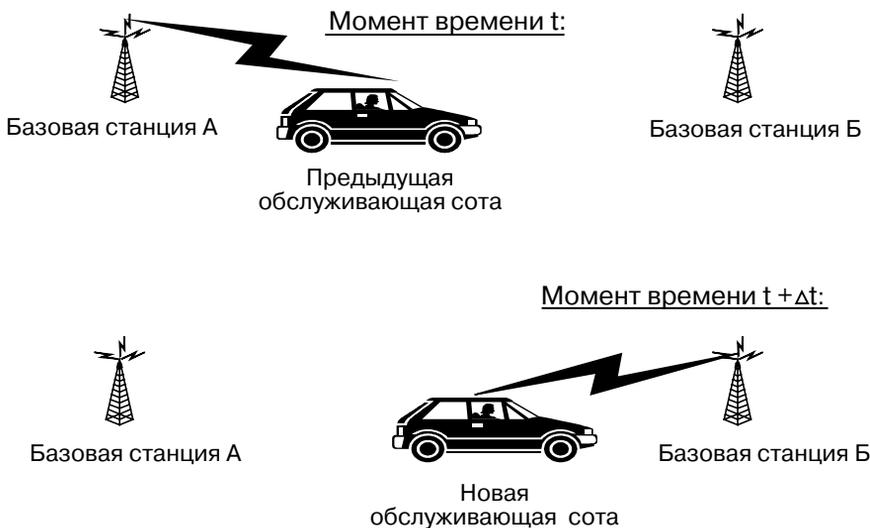


Рис. 11.2. Хэндовер

В современных технологиях для этого используется так называемый метод *MAHO* (*Mobile Assisted Handover*), в котором мобильный терминал сам периодически измеряет уровень сигнала и качество сигналов, принятых как от обслуживающей этого абонента базовой станции, так и от соседних базовых станций, и передает в сеть соответствующие сообщения об измерениях. Сеть анализирует эти сообщения и принимает решение о том, нужно ли производить *хэндовер* между сотами.

В зависимости от ситуации *хэндовер* может иметь место между двумя секторами одной и той же базовой станции, между двумя контроллерами BSC, между двумя центрами MSC, принадлежащими одному Оператору, или даже (при определенных условиях) между двумя сетями разных Операторов.

Технология подвижной связи, как уже отмечалось в этой лекции, предполагает, что абоненты могут свободно перемещаться из соты в соту в пределах сети, а также из одной сети в другую. Необходимо также, чтобы сеть отслеживала местонахождение абонента с некоторой точностью, дабы адресованные абоненту вызовы можно было ему доставить. Общее решение этой задачи состоит в следующем.

Во-первых, когда абонент первоначально включает свой мобильный терминал, это устройство самостоятельно посылает регистрационное сообщение к местному MSC.

В состав сообщения входит уникальный идентификатор абонента. На основе этого идентификатора MSC может определить регистр HLR, которому принадлежит абонент, и передать регис-

традиционное сообщение в HLR, чтобы информировать его о том, какой MSC в данное время обслуживает абонента. После этого HLR передает сообщение отмены регистрации в тот MSC, который до того обслуживал этого абонента (если таковой имеется), и посылает подтверждение в новый обслуживающий MSC. Большинство этих сообщений специфицировано в протоколе сигнализации *MAP* (*Mobile Application Part*), о чем мы поговорим в лекции 14.

11.5. Способы доступа к СПС

Как уже говорилось выше, связь подвижных абонентов со стационарными базовыми станциями и MSC осуществляется по *радиоканалу*. Способом доступа к радиоканалу в первых СПС был *множественный доступ с частотным разделением каналов FDMA* (*Frequency Division Multiple Access*). При таком способе каждый канал занимает свою частотную полосу, например, 30 кГц. Некоторые из этих каналов выделены для сигнализации, а другие, называемые речевыми каналами, отведены для передачи речи.

Цифровизация мобильной связи повлекла за собой применение временного разделения каналов TDM, когда каждый такой канал разделен на временные интервалы, в каждом из которых осуществляется один сеанс связи. Для цифровых СПС характерны два метода доступа к радиоканалу.

Технология CDMA, при которой все абоненты одновременно используют одну и ту же полосу частот, а чтобы выделить сигнал определенного абонента из всех других сигналов, передаваемых в той же полосе, этот сигнал модулируется уникальной кодовой последовательностью. Чтобы извлечь сигнал на приемном конце, нужно знать используемую для него кодовую последовательность.

Промышленную версию CDMA продемонстрировала компания Qualcomm из Сан-Диего, штат Калифорния, в 1989 году, а в книге она будет кратко рассмотрена в следующей лекции.

Технология множественного доступа с временным разделением каналов TDMA (*Time Division Multiple Access*) с выделением слота по требованию. Здесь требования посылаются в короткие интервалы времени, называемые слотами запросов, а при коллизиях требования повторяются. Базовая станция выделяет свободные информационные слоты, сообщая их идентификаторы источнику и получателю. Имеется несколько основных стандартов современных цифровых СПС, речь о которых – также в следующих лекциях.

11.6. Международные и национальные стандарты

11.6.1. Еще раз об ITU-T

В этом разделе мы продолжим начатое в лекции 1 рассмотрение телекоммуникационных *стандартов*, которые содержат соглашения, достигнутые соответствующими комиссиями стандартизации в определенной области телекоммуникаций, здесь – в области мобильной связи. Точно так, как это обсуждалось в части 1 относительно стандартов ТфОП, стандарты мобильной связи тоже являются результатом совместных исследований, драматических дискуссий и глубокого анализа.

ITU-T, IETF, ETSI и другие упоминаемые в этой книге организации, разрабатывающие стандарты, создают рабочие группы, эксперты этих рабочих групп проводят обсуждения, согласуют точки зрения, достигают консенсуса по техническим вопросам, что почти всегда ведет к улучшению спецификации по сравнению со спецификацией, разработанной каким-то одним производителем, Оператором или государственным институтом. Этот процесс характерен, прежде всего, для работ Исследовательских комиссий Международного союза электросвязи – ИТУ, – с результатами деятельности которых читатель уже неоднократно встречался (и будет встречаться дальше) на страницах этой книги. Упомянулся, в частности, разработанный ИТУ стек протоколов ОКС7, рассмотрение которого для ТфОП/ISDN было начато в лекции 4, а здесь будет продолжено протоколами MAP и CAP в лекции 14.

Работа ИТУ в области мобильной телефонии велась в рамках программы *будущей системы наземной мобильной телефонной связи общего пользования FPLMTS*, которая затем была переименована в *международную систему подвижной связи IMT2000*. В следующих лекциях прослеживается путь от стандартов мобильных сетей первого поколения через сети второго поколения к стандартам мобильных сетей третьего поколения 3G.

11.6.2. Роль ETSI в стандартизации мобильной связи

В сфере мобильной связи Комиссия Евросоюза в 1985 году организовала европейскую программу исследований в области новейших технологий связи – программу *RACE*, – в рамках которой родились идеи, а затем и концепции стандартов GSM и универсальной системы мобильной связи *UMTS*, чему посвящена лекция 16.

11.6.3. Проект партнерства 3-го поколения

Для работ над спецификациями систем третьего поколения мобильной связи 3G было решено объединить усилия и ресурсы разных региональных организаций, занимающихся разработкой стандартов в области СПС. Для этого шестью организациями из пяти разных частей света был создан партнерский проект *3GPP* (*Third Generation Partnership Project*).

Задачи и состав 3GPP постепенно расширялись, стала очевидной целесообразность организовать преемственность с системами *GSM*, *GPRS* (*General Packet Radio Service*) и *EDGE* (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*).

Работа над развитием стандарта GSM после многих лет успешной разработки также была переведена из ETSI в 3GPP, равно как и работы над поколением 2.5G.

Процесс стандартизации в организации 3GPP строго регламентирован. Структура 3GPP состоит из групп координации проекта PCG (*Project Coordination Group*) и групп технических спецификаций TSG (*Technical Specifications Group*), которые разрабатывают и поддерживают спецификации 3GPP.

Каждый технический документ 3GPP имеет уникальный идентификатор, показанный на рис. 11.3. Его структура может оказаться полезной для тех пытливых читателей, которые пожелают обратиться к первоисточникам, чтобы проверить авторов, и, надеемся, не только для этого. Рис. 11.3 специально для них.

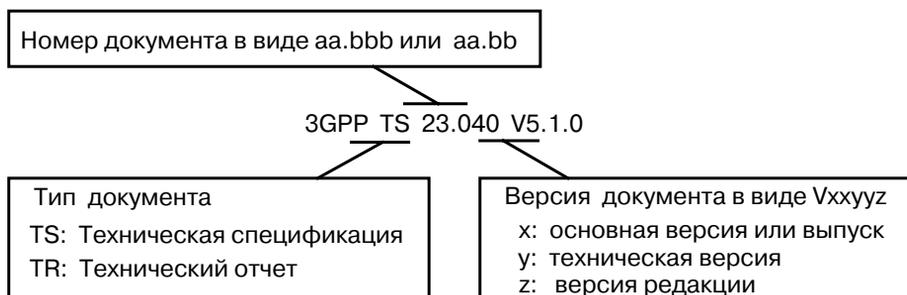


Рис. 11.3. Структура идентификатора спецификации 3GPP

Идентификаторы документов 3GPP, ряд которых приведен в списке литературы, начинаются с префикса '3GPP', за которым далее следуют две буквы, характеризующие тип документа, *TS* (*Technical Specifications*) для технических спецификаций или *TR* (*Technical Reports*) для технических отчетов. После типа документа следует номер спецификации, который может принимать одну из следующих форм: *aa.bbb* или *aa.bb*.

В номере спецификации *aa* указывает на предназначение документа. В регистрационном номере за номером версии следует номер документа в формате *Vx.y.z*. В этом формате *x* представляет версию спецификации, *y* представляет техническую версию и *z* представляет версию редакции.

Согласно правилам 3GPP спецификация замораживается раз в год, при этом продолжается ее доработка, результаты которой включаются в следующую версию спецификации.

В 1999 году 3GPP приняло решение, что версии, выпущенные после 1999 года, больше не будут именоваться в соответствии с годом, а будут использовать в своем названии уникальный порядковый номер, поэтому версия 5 следует за версией 4, которая идет за версией 99.

11.6.4. Проект 2 партнерства 3-го поколения

Организация 3GPP2 выполняет для семейства стандартов CDMA-2000 точно те же функции, что 3GPP выполняет для W-CDMA. Здесь ведется разработка стандартов поколения 3G для Операторов, которые в настоящее время работают в стандарте CDMA (IS-95 или T1A-E1A-95). Хотя 3GPP и 3GPP2 являются отдельными организациями, они тесно сотрудничают в области спецификации услуг, которые в идеале должны быть одними и теми же (с точки зрения пользователя), независимо от инфраструктуры и технологии доступа. Подробнее работа 3GPP2 в книге не рассматривается.

11.6.5. Национальные стандарты

Национальные стандарты базируются на рекомендациях ITU-T, европейских региональных стандартах ETSI, материалах 3GPP, GSM-форума и оформляются в виде ГОСТов и нормативно-правовых актов (НПА), на основании которых проводится сертификация телекоммуникационного оборудования, а также на других регулирующих отрасль документах. О национальных спецификациях протоколов сигнализации в СПС мы поговорим в лекции 14.



Ключевые слова: системы радиосвязи, FMC, FMS, беспроводный радиодоступ, DECT, пейджинг, транкинг, спутниковая связь, амплитудная модуляция AM, частотная модуляция FM, сота, повторное использование частот, CDMA, TDMA, D-AMPS, базовая станция BS, мобильный терминал MS, контроллер базовых станций BSC, центр коммутации подвижной связи MSC, хэндовер, домашний регистр HLR, 3GPP, 3GPP2.



Контрольные вопросы

1. Причины изобретения сотовой связи?
2. Что общего между ТФОП и СПС?
3. В чем различия между ТФОП и СПС?
4. В чем состоит принцип многократного использования частот в сотовых сетях?
4. Что означает понятие «хэндовер»?
5. Какая геометрическая конфигурация соты наиболее эффективна? Почему?
6. Спектр, отводимый для мобильной связи:
 - a) низкие частоты,
 - b) звуковые частоты,
 - c) высокие частоты,
 - d) сверхвысокие частоты.
7. При перемещении мобильной станции из одной соты в другую выполняется следующая процедура:
 - a) роуминг,
 - b) хэндовер,
 - c) роуминг и хэндовер,
 - d) ни та, ни другая.
8. Стандарт GSM разработан:
 - a) ITU-T,
 - b) 3GPP,
 - c) ETSI,
 - d) IETF.



Задачи и упражнения

1. Обоснуйте геометрически выбор конфигурации модели соты в виде правильного шестиугольника.
Приведите математическое доказательство.



Литература к лекции 11

- 11.1. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи.– М.: Эко-Трендз, 2000. – 239 с.
- 11.2. Карташевский В.Г., Семенов С.Н., Фирстова Т.В. Сети подвижной связи. – М.: Эко-Трендз, 2002. – 304 с.

Лекция 12

Поколения сетей сотовой связи

*Не так ли вот и мы, друг друга не таясь,
Нет-нет, да вступим в сотовую связь?!
Владимир Вишневский*

12.1. Первое поколение 1G

В этой и следующих лекциях второй части книги из всей совокупности систем радиосвязи рассматриваются только системы сотовой связи. Более того, основное внимание уделяется технологиям сотовой связи поколений 2,5G и 3G, хотя знакомство с более ранними системами 1G и 2G имеет большое значение и помогает нам понимать, как были разработаны решения для систем СПС следующих поколений. Иначе говоря, воспринять, как мы сюда пришли и куда мы идем дальше, гораздо легче, если знать, где мы были.

Сотовая связь, как мы понимаем ее сегодня, реально началась в самом конце 70-х годов прошлого века. Известны результаты опытной эксплуатации в Чикаго в 1978 году системы *AMPS (Advanced Mobile Phone Service)* в диапазоне 800 МГц. Однако потребовалось несколько лет, прежде чем в Соединенных Штатах была запущена первая коммерческая система AMPS, в том же Чикаго, но уже в 1983 году. Вскоре за ним последовали другие крупные города США, также использовавшие на том этапе аналоговые системы стандарта AMPS.

Между этими двумя событиями коммерческая система сотовой связи была запущена в 1979 году в Токио. Европейцы пошли своим

путем, и в Швеции, Норвегии, Дании и Финляндии была создана в 1981 году первая европейская система *NMT-450 (Nordic Mobile Telephone System)*, работавшая в диапазоне 450 МГц. Великобритания внедрила в 1985 году другую технологию, которая называлась *TACS (Total Access Communications System)*, работала в диапазоне 900 МГц и, в сущности, являлась модифицированной версией *AMPS*.

Мобильную связь в стандарте *TACS* первоначально предлагали операторы мобильной связи *BT, Cellnet* и *Vodafone*.

Названным примерам последовали многие другие страны, и скоро услуги мобильной связи распространились по всему земному шару. Это открытое для эксплуатации в самом начале 1980-х годов первое поколение сотовой связи *1G* уже позволяло реализовать упоминавшиеся в предыдущей лекции ключевые концепции: повторное использование частот в сотах, мобильность терминалов с определением их местонахождения в той или иной соте, непрерывность связи при перемещении из соты в соту – хэндовер. То есть уже системы *1G* смогли решить одну из основных проблем беспроводной связи – передачу установленного соединения от одной радиостанции к другой без потери связи.

Еще одна проблема была решена благодаря повторному использованию частот, позволившему обслуживать значительно более высокий объем трафика в одной географической зоне обслуживания. Не вдаваясь в детали, отметим, что системы *1G* относятся к одному из двух ключевых стандартов – скандинавскому *NMT* и американскому *AMPS*. Оба эти стандарта кратко рассматриваются ниже.

Но прежде было бы справедливо отметить присущие обеим этим системам недостатки. Речь идет о возможности прослушивания переговоров, возможности изготовления клонов мобильных терминалов, перегруженности частотного диапазона вследствие его неэффективного использования. К тому же, свойственное аналоговым системам распространение радиоволн в условиях интенсивных городских застроек приводит к возможным замираниям, вызванным многолучевым распространением радиоволн и приводящим к ухудшению качества передачи речи.

И все же нельзя сказать, что системы *1G* не оправдали возлагавшихся на них ожиданий, их роль в развитии сегодняшних СПС трудно переоценить.

12.2. NMT-450

Как следует из названия, этот стандарт технологии FDMA был совместно разработан скандинавскими странами (Данией, Норвегией, Швецией и Финляндией) для диапазона 450 МГц, а после насыщения этого диапазона – и для 900 МГц, получив обозначение NMT-900. В состав сетевой архитектуры NMT входят центры коммутации подвижной связи MTX (Mobile Telephone Exchange), базовые станции BS и абонентские терминалы. Центры коммутации MTX обеспечивают стык с телефонной сетью общего пользования на местном, зонавом и междугородном уровнях. Базовые станции реализуют интерфейс между фиксированной частью системы и мобильными терминалами и связаны со станциями MTX по проводным или радиорелейным соединительным линиям.

В России NMT-450 был признан первым федеральным стандартом. В 1991 году Оператор «Дельта Телеком» ввел в эксплуатацию первую отечественную СПС в Санкт-Петербурге. Первые мобильные телефоны сети «Дельта» стоили порядка \$2000 и весили 5 кг. В 1995 году было подписано соглашение о взаимном автоматическом роуминге региональных Операторов NMT-450 в рамках национальной сети. Сегодня систему NMT почти полностью вытеснили стандарты GSM и CDMA, включая и CDMA-450.

12.3. Система AMPS

Система *усовершенствованной мобильной телефонной связи, AMPS (Advanced Mobile Phone System)* технологии FDMA, изобретенная в знаменитой Лаборатории Белла в 70-х годах XX века, впервые была развернута в Чикаго, США в 1982-1983 годах, а затем распространилась по всей Северной и Южной Америке и Австралии. С этой же системы началась история отечественной операторской компании «Вымпелком» (торговая марка БиЛайн), входящей в так называемую «Большую тройку» Операторов сотовой связи России. В 1992 году в Москве была запущена пилотная сеть БиЛайн на 200 абонентов, а с 1994 началась коммерческая эксплуатация. Система AMPS использовалась также в Англии, Испании, Китае, Новой Зеландии, Гонконге и некоторых других странах, где она называлась TACS.

Существовала также система *C-Netz*, которая использовалась в Германии, Австрии, Южной Африке и Португалии. Некоторые фундаментальные характеристики этой системы были унаследованы ее цифровым последователем *D-AMPS*, относящимся уже к поколению 2G.

Системы 1G созданы примерно на одном технологическом уровне; характерный для систем 1G размер соты в AMPS состав-

ляет обычно от 10 до 20 км, что значительно больше размера сот в цифровых системах 2G. Каждая сота работает на своих частотах, не пересекающихся с соседними, а использование одних и тех же частот в разных (но не соседних) ячейках дает значительно лучшее использование частотного ресурса. В каждой соте располагается своя базовая станция BS, которая обслуживает все мобильные телефоны, находящиеся в зоне ее действия.

Базовая станция состоит из управляющего устройства и приемника/передатчика, соединенного с антенной. Относительно небольшие размеры сот означают меньшую мощность, требуемую для передатчиков. Базовые станции соединены с одним или несколькими центрами коммутации *MSC (Mobile Switching Center)*, иногда называемыми также *MTSO (Mobile Telephone Switching Office)*. Эти центры коммутации соединяются с базовыми станциями, друг с другом и хотя бы с одним коммутационным узлом телефонной сети общего пользования ТфОП, рассмотренной в части 1.

12.4. Система второго поколения D-AMPS

В отличие от аналоговых систем первого поколения системы второго поколения являются цифровыми. Использование цифровой технологии имеет ряд преимуществ, включая увеличенную емкость сети, лучшую защищенность и новые услуги. Подобно системам первого поколения были разработаны разные типы технологии второго поколения. В число трех наиболее успешных вариантов технологии второго поколения входят GSM, D-AMPS, CDMA.

Первой из перечисленных технологий – *GSM* целиком посвящена следующая лекция и потому в этой лекции она упоминается лишь вскользь, а несколько подробнее рассматриваются остальные системы.

Полностью цифровая система D-AMPS технологии FDMA описывается международным стандартом IS-136 и предшествующим ему IS-54. Она разработана таким образом, чтобы успешно сосуществовать с AMPS. Так, D-AMPS использует те же каналы 30кГц, что и AMPS, которые располагаются в том же диапазоне. В России с 1995 года московская сеть БиЛайн начала переход на DAMPS. Стоимость подключения составляла рекордную сумму около \$6000. Система D-AMPS была широко распространена в США и, в несколько измененной форме, в Японии. Практически весь остальной мир использует системы GSM и CDMA. В России в 2000 году решением ГКРЧ было предписано к 2010 году прекратить эксплуатацию сотовых СПС стандартов AMPS/D-AMPS и передать частоты для развертывания сетей цифрового телевидения. В качестве компенсации потери частот 800 МГц Операторам были предоставлены частоты для GSM 1800.

12.5. Стандарт CDMA

Два вида стандартов – D-AMPS и GSM – традиционные системы, использующие частотное и временное уплотнение для разделения спектра на каналы и разделения каналов на интервалы, о чем говорилось еще в предыдущей лекции. Совершенно иначе устроена система *CDMA* (*Code Division Multiple Access*), принципы которой перевернули привычные каноны беспроводной связи.

Эти принципы, благодаря активности придумавшей их компании Qualcomm, сделали CDMA распространенной системой мобильной связи 2G; в США ее поддерживает крупнейшая операторская компания Sprint (конкурирующая с работающей на D-AMPS компанией AT&T Wireless), а в России – операторская компания СкайЛинк.

Эта система известна сегодня как IS-95 по имени описывающего ее стандарта, а также под именем *cdmaOne*. Кроме того, технология CDMA является и базой для систем третьего поколения 3G, о чем ниже. В отличие от NMT, AMPS, D-AMPS и GSM, вместо разделения доступного частотного диапазона на сотни узких каналов в CDMA каждый терминал может при передаче все время пользоваться всем выделенным спектром частот.

Одновременный множественный доступ обеспечивается за счет применения теории кодирования. В [44] предлагается рассмотреть в качестве аналогии CDMA зал ожидания в аэропорту. Множество пар оживленно беседуют. Временное уплотнение можно сравнить с ситуацией, когда все люди находятся в центре зала и говорят по очереди. Частотное уплотнение мы сравним с ситуацией, при которой люди находятся в разных углах и одновременно, но независимо ведут свои разговоры, которые не слышны остальным.

Для CDMA лучше всего подходит сравнение с ситуацией, когда все – в центре зала, однако каждая пара говорящих использует свой язык общения. Русскоговорящие обсуждают свои вопросы, воспринимая чужие разговоры на других языках как шум. Именно такой подход к выделению полезного сигнала при игнорировании всех остальных и является ключевой идеей CDMA.

Рассмотрим эти идеи несколько подробнее. Каждый интервал в CDMA разбивается на m коротких периодов, называемых *элементарными сигналами* или *чипами* (*chips*). Как правило, в интервале помещаются 64 или 128 чипов. Каждому мобильному терминалу соответствует уникальный m -битовый код, называющийся *элементарной последовательностью*. Чтобы передать 1 бит, терминал посылает свою элементарную последовательность. Чтобы передать бит со значением 0, нужно отправить вместо элементарной последовательности ее дополнение (все единицы последовательности заменяются нулями, а все нули — единицами). Никакие дру-

гие комбинации передавать не разрешается. Таким образом, если $m=8$ и мобильному терминалу присвоена 8-битовая элементарная последовательность 00011011, то бит со значением «1» передается кодом 00011011 (что соответствует элементарной последовательности), а бит со значением «0» передается кодом 11100100 (дополнение элементарной последовательности). В этой ситуации, чтобы скорость передачи информации составила v бит/с, нужно отправлять mv чипов или элементарных сигналов в секунду.

12.6. Системы 2,5G

При всем разнообразии систем второго поколения техническое развитие на них не остановилось. Практически немедленно начали появляться системы, называемые 2,5G, хотя некоторые из них аналитики считают более точным называть 2,1G, а другие – 2,75G.

Подробнее же эти системы 2,5G будут обсуждаться в лекции 17, посвященной услугам СПС. Там будут рассмотрены система *EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)*, фактически сохраняющая традиционную технологию GSM с увеличением скорости передачи данных за счет большего количества битов на 1 Гц, а также другая система 2,5G, достигшая большего распространения. Она называется общей услугой пакетной радиосвязи *GPRS (General Packet Radio Service)*, строится на базе как GSM, так и D-AMPS, и позволяет обмениваться IP-пакетами по речевым каналам сотовой связи, для чего определенные временные интервалы на определенных частотах резервируются под пакетный трафик.

В лекции 17 будет показано, что система GPRS работает как надстройка над существующей системой сотовой связи 2G, и ее можно рассматривать как временное решение, которое перестанет быть полезным, когда будет введена в строй 3G.

12.7. Мобильная связь третьего поколения 3G

Работы над 3G начались относительно давно: в 1992 году Международный союз электросвязи предпринял первую попытку специфицировать систему третьего поколения 3G и выпустил проект под названием *IMT-2000 (International Mobile Telecommunications)*. В нем число 2000 отражало сразу три аспекта: во-первых, оно указывало на год, в котором планировалось ввести в эксплуатацию этот проект; во-вторых, именно в таком диапазоне частот в мегагерцах должна была работать система; в-третьих, в радиоинтерфейсе предполагалось поддерживать как раз такую скорость передачи в кбит/с. Но ни один из этих трех аспектов осуществить не удалось.

В 2000 году система реализована не была. Хотя ИТУ и рекомендовал национальным администрациям связи всех стран резервировать частоту 2000 МГц (2 ГГц) для международного роуминга, никто кроме Китая этого не сделал.

Кроме того, было осознано, что практически невозможно выделить каждому мобильному абоненту постоянную пропускную способность в 2 Мбит/с, что гораздо разумнее дифференцированный подход: выделить 2 Мбит/с абоненту, который находится дома или в офисе, 384 Кбит/с – абоненту, прогуливающемуся с ограниченной скоростью, и 144 Кбит/с – абоненту, едущему в автомобиле. Предусматривались следующие основные услуги, для которых и задумывалась сеть IMT-2000: высококачественная передача речи, доступ в Интернет, обмен сообщениями (e-mail, факс, SMS, чат), видеоконференции, электронные игры, мобильная коммерция (использование мобильного телефона для оплаты покупок), мультимедиа (музыка, видео, фильмы, телевидение). К услугам 3G мы вернемся в лекции 17.

Проект IMT-2000 задумывался как единая технология; именно в таком ключе ИТУ запросил технические предложения от заинтересованных организаций и затем выбирал лучшее из многочисленных представленных технических предложений радиоинтерфейса.

В 1999 году ИТУ-T выбрал пять технологий для наземной сотовой связи (не на спутниковой базе): Wideband CDMA (W-CDMA), CDMA2000 (развитие IS-95 CDMA), TD-SCDMA (time division-synchronous CDMA), UWC-136 (развитие IS-136) и DECT. Сегодня на роль единой претендуют первые две технологии.

На рис. 12.1 показаны связи между различными платформами, которые содержат группу спецификации IMT-2000.

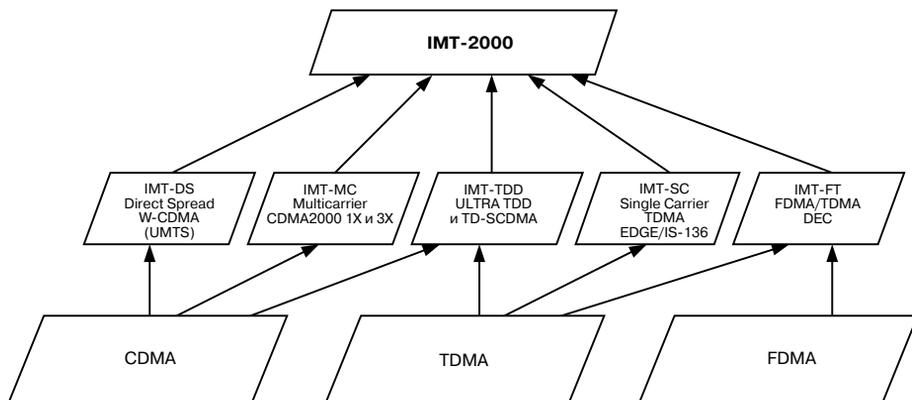


Рис. 12.1. Планировавшаяся эволюция к IMT-2000

Из рисунка видны трудности однозначного определения 3G при наличии нескольких конкурирующих платформ радиодоступа, которые, будем надеяться, достигнут полной унификации к поколению 4G или позже (если вообще достигнут). Одна из них, называемая *W-CDMA (Wideband CDMA)*, была предложена фирмой Ericsson, использует расширение спектра с применением кода прямой последовательности и полосу пропускания 5 МГц. Она совместима по межсетевому обмену с сетями стандарта GSM, то есть позволяет мобильному абоненту не прерывать связь при выходе из соты W-CDMA и входе в ячейку GSM. Эта система продвигается Европейским Союзом под названием *универсальная система мобильной связи UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)* и подробно рассматривается в лекции 16.

Другая система *CDMA2000* предложена Qualcomm и тоже использует принцип расширения спектра с применением кода прямой последовательности и полосу пропускания 5 МГц, однако не поддерживает межсетевое взаимодействие с GSM, то есть передача соединения при переходе в соту GSM, равно как и в соту D-AMPS, не обеспечивается. Среди технических отличий *CDMA2000* от *W-CDMA* стоит отметить иную скорость следования элементарных посылок, иные кадровый интервал, используемый спектр и способ синхронизации. И все же эти различия не являются принципиальными. Если бы можно было организовать совместную работу инженеров из Ericsson и Qualcomm, поставив им задачу выработать единую систему, они, без сомнения, справились бы с этим. В конце концов, базовый принцип обеих систем – это CDMA в канале с полосой 5 МГц. Как читатель не раз уже видел и еще увидит на других страницах этой книги, настоящей проблемой является отнюдь не инженерное решение, а политика.

В данном случае Европе требовалась система, умеющая работать с GSM; Соединенным Штатам нужна была система, совместимая с одной из наиболее распространенных там систем – IS-95. Каждая сторона поддерживала свою компанию, Ericsson находится в Швеции, Qualcomm – в США. В результате Ericsson согласилась приобрести разработку Qualcomm, обе компании согласились на единый стандарт 3G, однако с множеством несовместимых функций, которые, впрочем, в большой степени связаны с документацией, а не с техническими различиями. К обсуждению европейской версии 3G мы еще вернемся в лекции 16.

12.8. Мобильная связь четвертого поколения 4G

Несмотря на то, что сеть 3G до сих пор не реализована в полном объеме, многие исследователи рассматривают ее появление как

свершившийся факт и уже работают над созданием систем четвертого поколения, которые будут характеризоваться более высокой пропускной способностью, полной конвергенцией с проводными IP-сетями, адаптивным управлением частотным спектром и высоким качеством обслуживания мультимедийного трафика. Эти исследования стимулируются тем, что сегодня повсеместно устанавливается большое количество точек доступа к беспроводным ЛВС стандарта 802.11, строятся хот-споты Wi-Fi и зоны WiMAX и т.п.

В связи с этим некоторые аналитики рассматривают 3G как мертворожденное поколение систем, что, тем не менее, не лишает читателя необходимости изучить посвященную UMTS лекцию 16. А к вопросу перспективных сетей 4G мы еще вернемся в лекции 20 книги.



Ключевые слова: 1G, хэндовер, AMPS, NMT-450, 2G, D-AMPS, GSM, базовая станция BS, CDMA-450, 3G, IMT-2000, хот-спот, WiMAX, 4G.



Контрольные вопросы

1. Что означает буква G в «2G»?
2. Охарактеризуйте механизмы действия СПС первого поколения. В чем, по-вашему, их слабые места?
3. Какие стандарты сетей 1G применялись в составе ЕСЭ России?
4. Каковы различия между сотовыми системами первого и второго поколения?
5. Опишите общие черты и различия СПС второго поколения. В чем, по-вашему, их слабые места?
6. Какие стандарты сетей 2G применяются в составе ЕСЭ РФ?
7. Какие факторы, по вашему мнению, обеспечили всемирный успех GSM?
8. Каковы, на ваш взгляд, причины возникновения систем 3G?
9. Какие скорости передачи в зависимости от трех степеней мобильности абонентов предусмотрены в 3G?
10. Сравните сети подвижной связи по возможному числу абонентов на соту.
11. Сравните сети подвижной связи по информационной защите.



Задачи и упражнения

1. Представьте графически эволюцию поколений СПС от 1G до 3G. В приложении к графику опишите периоды появления каждого поколения, характер новых возможностей и услуг каждого следующего поколения.



Литература к лекции 12

- 12.1. Ратынский М.В. Основы сотовой связи / Под ред. Д.Б. Зимина. – М.: Радио и связь, 2000. – 248 с.

Лекция 13

Сетевая технология GSM

*При изучении наук примеры полезнее правил.
Исаак Ньютон*

13.1. Введение в GSM

Выбранный в качестве эпиграфа тезис здесь проявляется в полной мере: изучение одного из упомянутых на предыдущей лекции примеров технологии подвижной связи 2G – технологии *Global System for Mobile Communications (GSM)* – полезнее других, приведенных там. Дело в том, что хотя GSM является европейским стандартом, он получил всемирное признание, обладает привлекательными преимуществами и наиболее широко распространен в СПС.

Когда в 1982 году впервые был использован акроним GSM, он означал *Groupe Speciale Mobile* – французское название рабочей группы европейских администраций почты и электросвязи *CEPT (Conference des administrations Europennes des Postes et Telecommunications)*. Перед этой группой стояла задача разработки спецификаций нового цифрового стандарта мобильной связи в диапазоне 900 МГц. Со временем (в 1989 году) эти работы из CEPT перешли в новую организацию – ETSI, – где работы над GSM продолжались, и в 1991 году первые системы GSM были готовы к вводу в эксплуатацию.

Значение акронима GSM к этому времени изменилось, он стал обозначать глобальную систему мобильной связи *Global System for Mobile Communications*. Уже под этим названием работа над GSM перешла в 2000 году от ETSI к партнерству 3GPP.

Днем рождения GSM считается 1 июля 1991 года, когда в городском парке г. Хельсинки, Финляндия, был сделан первый телефонный вызов в этой системе.

К 1992 году многие европейские страны уже имели в эксплуатации сети GSM, эта технология начала распространяться по всему миру и стала фантастическим коммерческим успехом ее разработчиков. В этот успех GSM значительный вклад внесли либерализация монополии на телекоммуникации в Европе в 1990-х годах и последовавшие за ней конкуренция, снижение цен и расширение рынка, а также высокий научный и профессиональный уровень специалистов Groupe Speciale Mobile. В России первые СПС стандарта GSM900 заработали в 1994 году Москве (МТС) и в Санкт-Петербурге (Северо-Западный GSM, нынешний Мегафон). К началу 2002 года в мире насчитывалось уже около 500 Операторов GSM, работающих в 172 странах мира.

Сеть GSM состоит из следующих основных конструктивных блоков (рис. 13.1): базовая приемопередающая станция (BTS), контроллер базовой станции (BSC), блок перекодировки и адаптации (TRAU), центр коммутации подвижной связи (MSC), домашний регистр (HLR), гостевой регистр местонахождения (VLR) и регистр идентификации оборудования (EIR), центр аутентификации (AuC). В обычной конфигурации несколько BTS подсоединены к BSC, а несколько контроллеров BSC, в свою очередь, подсоединены к центру коммутации MSC.

В этой лекции мы уделим основное время описанию архитектуры и функциональных возможностей GSM, имея в виду, что именно GSM является фундаментом ряда более совершенных технологий, таких как относящаяся к поколению 2,5G и рассматриваемая в лекции 17 технология GPRS, а также рассматриваемая в лекции 16 технология UMTS. Чтобы изучить эти технологии, целесообразно подробнее познакомиться с GSM.

Как отмечалось в предыдущей лекции, технология GSM предусматривает множественный доступ с временным разделением каналов и дуплексную связь с частотным их разделением. Ширина полосы радиоканала составляет 200 кГц, а применение алгоритма цифрового кодирования речи со скоростью 13 кбит/с позволяет создать в каждом канале связи или кадре 8 временных интервалов, доступных для распределения.

Алгоритмы кодирования с вдвое меньшей скоростью создают 16 временных интервалов в каждом кадре. Стандарт GSM допускает так называемое *перескакивание частот (frequency hopping)*, то есть мобильный терминал может перемещаться между временными интервалами, предназначенными для приема сигнала, его передачи или для служебных сообщений в одном TDMA-интервале, как правило, переходя при этом с одной частоты на другую.

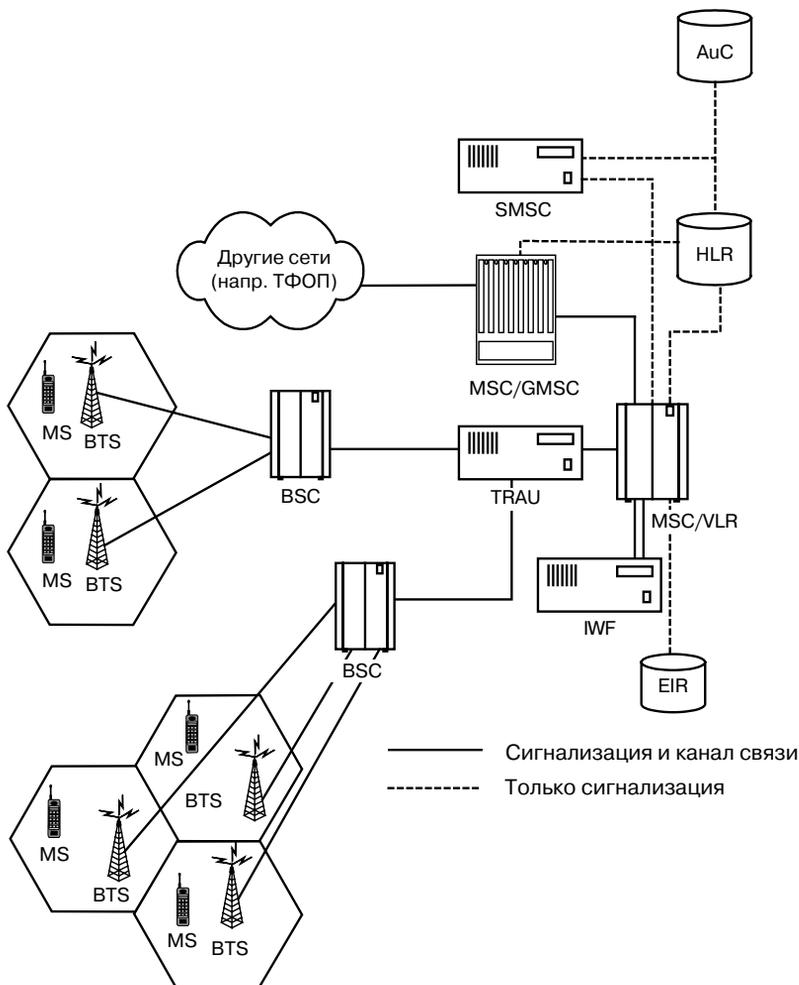


Рис. 13.1. Архитектура системы GSM поколения 2G

Рассматривать здесь мы будем GSM-900, но сама технология GSM оказалась настолько удачной, что после незначительной модификации она успешно используется в диапазоне 1800 МГц под именем GSM-1800 и в диапазоне 1900 МГц под именем PSC-1900 (*Personal Communication Services*), преимущественно, для работы в США. По очевидным причинам GSM-1800 отличается от системы GSM-900 меньшей мощностью базовых станций BS и мобильных терминалов MS и меньшим размером сот. По мере освобождения сотовыми системами первого поколения частотного диапазона 450 МГц в ETSI рассматривалась стандартизация системы GSM для работы в диапазонах 450 и 480 МГц под названием GSM-400, равно

как и работа в диапазоне 850 МГц (GSM-850), что, тем не менее, не получило распространения. Сетевая архитектура во всех этих вариантах остается практически неизменной, поэтому займемся ее рассмотрением, не вдаваясь более в детали частотного плана.

13.2. Структура сети GSM

На рис. 13.1 показана базовая архитектура сети GSM, в которой мобильный терминал *MS* связывается через радиointерфейс с базовой приемопередающей станцией *BTS*. Этот мобильный терминал *MS* состоит из двух частей – самой трубки, называемой мобильным оборудованием *ME (Mobile Equipment)*, и SIM-карты абонента (*Subscriber Identity Module*) – небольшой карты с интегральной схемой, содержащей специальную информацию о пользователе, включая идентификатор абонента, информацию для аутентификации абонента и некоторую информацию об обслуживании абонента. Телефонный аппарат становится мобильным терминалом и обеспечивает обслуживание абонента только тогда, когда в него вставлена SIM-карта этого абонента.

Одна или несколько *BTS* соединены с контроллером базовой станции *BSC*, который обеспечивает ряд функций, связанных с управлением радиоресурсом *RR (radio resource)*, с поддержкой мобильности *MM (mobility management)* абонентов в зоне охвата станций *BTS*, и ряд функций эксплуатационного управления всей радиосетью. Вместе станции *BTS* и контроллеры *BSC* называют подсистемой базовой станции *BSS (Base Station Subsystem)*. В то время как подсистема *BSS* обеспечивает радиодоступ для мобильного терминала, остальные сетевые элементы отвечают за функции управления и за базы данных, необходимые для установления соединения в сети GSM, включая шифрование, аутентификацию и роуминг.

13.3. SIM-карта

Как уже упоминалось выше, в GSM мобильный терминал состоит из самого мобильного телефонного аппарата *ME* и специальной смарт-карты, известной под именем *модуля идентификации абонента SIM*. Система GSM была одной из первых систем, где нашла применение SIM-карта для отделения идентификатора абонента от идентификатора оборудования.

Представленный на рис. 13.2 микрочип SIM-карты, имеющий в соответствии со стандартом ISO 7816 размеры 85,5x54x0,76 мм, полностью универсален для разных мобильных устройств GSM, что обеспечивает множество удобных функциональных возможностей,

таких как возможность создавать новый мобильный терминал абонента простой заменой SIM-карты.

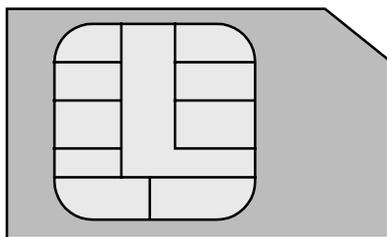


Рис. 13.2. SIM-карта

Таким образом, вставив свою SIM-карту в любое другое мобильное устройство стандарта GSM, абонент может пользоваться услугами мобильной связи с помощью любого GSM-терминала. Применение SIM-карт существенно осложняет похищение идентификационных номеров или мошеннические вызовы за чужой счет. SIM-карта защищена специальным паролем или персональным идентификационным номером и содержит так называемый уникальный международный идентификатор абонента *IMSI (International Mobile Subscriber Identity)*, который используется для идентификации абонента внутри сети, а обсуждается подробнее в лекции 15, посвященной нумерации.

13.4. Подсистема базовой станции

Подсистема базовой станции *BSS* включает в себя две части: базовую приемопередающую станцию *BTS* и контроллер базовой станции *BSC*. Функция *BTS*, зона действия которой определяет границы соты, состоит в том, чтобы поддерживать радиосвязь с мобильными терминалами с помощью специальных протоколов. Контроллер базовой станции отвечает за создание канала передачи данных, переключение частот, а также обслуживание вызова в пределах управляемых им станций *BTS*.

На рис. 13.1 присутствует также блок *TRAU (Transcoding and Rate Adaptation Unit)*, задача которого преобразовать скорость передачи кодированной речи в скорость 64 кбит/с, принятую ТфОП. Дело в том, что в GSM речь абонента обычно кодируется на скорости либо 13 кбит/с (полная скорость, *FR, Full Rate*), либо 12,2 кбит/с (улучшенная полная скорость, *EFR, Enhanced FR*).

В некоторых случаях используется также кодирование на половинной скорости, равной 5,6 кбит/с, но в коммерческих сетях это бывает редко. Так или иначе, скорость кодированной речи при передаче ее к мобильному терминалу и от него отличается от скорости

64 кбит/с, являющейся основой рассмотренной в предыдущих 10 лекциях фиксированной сети. Строго говоря, TRAU можно отнести к подсистеме базовой станции, т.к. речь к сети и из нее проходит на скорости 64 кбит/с, а перекодирование берет на себя эта подсистема. Однако на практике TRAU обычно физически отделен от BSC и расположен вблизи MSC, благодаря чему снижается требуемая полоса пропускания между MSC и BSC и экономятся расходы на транспортную сеть, когда BSC и MSC находятся на значительном расстоянии друг от друга.

13.5. Регистр HLR и центр аутентификации AuC

На рис. 13.1 показан также уже упоминавшийся выше регистр *HLR*, содержащий основные данные об абоненте. Каждая сеть подвижной связи требует наличия доступа, по крайней мере, к одному регистру HLR как к постоянной памяти для хранения данных. Эта концепция предполагает, что HLR является большой базой. Чем быстрее приходит ответ из базы данных, тем быстрее можно установить соединение, что особенно актуально для HLR, обрабатывающих данные для сотен тысяч абонентов. Каждый абонент закреплен за определенным HLR, который действует как фиксированный справочный пункт и хранит информацию о текущем местонахождении абонента, включая идентификатор регистра VLR, а также информацию о доступных этому абоненту услугах.

Вызовы из других сетей, в частности из ТфОП, сначала поступают на *Gateway MSC* (GMSC). Основное назначение GMSC – запросить в HLR данные о местонахождении абонента. Затем вызов переадресуется из GMSC в MSC, обслуживающий абонента. В HLR хранятся такие специфические данные об абонентах, как секретный ключ аутентификации K_i , который является составной частью управления защитой. Он никогда не передается ни в какой интерфейс и записан только в HLR и в SIM.

Ассоциированный с HLR центр аутентификации *AuC* (*Authentication Center*) всегда реализуют как составную часть HLR, содержащую специальные данные аутентификации абонентов, включая вышеупомянутый K_i . Хотя в GSM предусмотрен интерфейс между AuC и HLR, и у него даже есть свое наименование (интерфейс H), но этот интерфейс никогда не был достаточно подробно специфицирован для того, чтобы AuC работал автономно. Используя случайное число, назначенное центром AuC для определенного абонента и переданное в его SIM-карту через HLR и MSC, SIM-карта выполняет расчет параметра аутентификации с применением K_i и алгоритма аутентификации. Если результат расчета на SIM-карте соответствует результату в AuC, то это значит, что абонент прошел аутентификацию.

13.6. Гостевой регистр VLR

Регистр VLR, подобно регистру HLR, тоже является базой данных, но его назначение иное. В то время как на HLR возлагаются, по большей части, статические функции, VLR обеспечивает управление динамическими данными об абоненте. В лекции 11 мы рассмотрели хэндовер и только упомянули про роуминг. Сейчас пора восполнить этот пробел.

Дать краткое определение роуминга не совсем просто. Наиболее распространенным является *определение роуминга как процедуры предоставления услуг связи мобильному абоненту, находящемуся вне зоны действия домашней сети, путем использования ресурсов другой сети*. Однако фактически это определение описывает только один из трех вариантов роуминга. Поэтому авторам представляется более удачным с технической точки зрения такое определение: *роуминг – это процедура, которая сохраняет предоставление услуг связи мобильному абоненту при изменении зоны обслуживания MSC*. Тогда описание разных видов роуминга будет выглядеть так:

- *внутрисетевой роуминг* обеспечивается при передвижении абонента между зонами обслуживания MSC сети домашнего Оператора;
- *национальный роуминг* обеспечивается при передвижении абонента между зонами обслуживания MSC, находящимися в тех регионах страны, где нет сети домашнего Оператора, но действуют партнерские соглашения с другими Операторами СПС;
- *международный роуминг* обеспечивается при передвижении абонента в тех странах, с операторами СПС которых заключил партнерские соглашения домашний Оператор.

Поясним процесс поддержки роуминга. Когда абонент перемещается из одной географической зоны обслуживания MSC/VLR в другую, из VLR места убытия абонента (старого VLR) в VLR места его прибытия (новый VLR) передаются данные об абоненте. Бывают ситуации, когда новый VLR должен запрашивать в HLR абонента дополнительные данные. Дело в том, что HLR в GSM не несет ответственность за управление теми абонентами, которые в данное время находятся в непосредственной близости от него. Даже если абонент находится в своей собственной зоне, его динамические данные обрабатывает не HLR, а VLR этой зоны, что иллюстрирует существенное отличие HLR от VLR: регистру VLR строго соответствует ограниченная географическая зона обслуживания, в то время как HLR имеет дело с задачами, которые не зависят от местонахождения абонента. Термин «географическая зона HLR» не имеет смысла в GSM.

Совокупность географических зон обслуживания MSC и определяет область действия Оператора СПС, то есть каждую СПС можно рассматривать как общую область охвата подсистемами BSS, подсоединенными к центрам MSC. Поскольку каждый MSC имеет собственный регистр VLR, всю сеть СПС можно описать как совокупность всех географических зон VLR. Заметим, что VLR может обслуживать несколько центров MSC, но один MSC всегда использует только один VLR. Такая географическая взаимозависимость и позволяет интегрировать VLR в MSC.

13.7. Центр коммутации MSC

С технической точки зрения MSC представляет собой всего лишь обычную коммутационную станцию с некоторыми изменениями, ориентированными на мобильную связь. Это наглядно иллюстрируют практически все поставщики систем GSM, коммутаторы которых одинаково успешно работают как в ТфОП/ISDN, так и в СПС как центры MSC. Компания Нокиа с системой DX-200, Siemens с EWSD, Alcatel с S12, Эрикссон с AXE являются хорошо известными примерами такой конвергенции.

Отличия же центра MSC от узлов коммутации ТфОП обусловлены спецификой подвижной связи, в частности, назначением пользователям каналов к BSS, за что отвечает MSC, управлением хэндовером и др. К этому можно добавить функцию взаимодействия IWf разговорных и не разговорных соединений с внешними сетями, а также адаптации скорости для услуг передачи данных, рассматриваемую ниже.

В самом общем виде процесс соединения в MSC выглядит следующим образом. Когда пользователь инициирует вызов, его мобильный терминал обращается к ближайшей базовой станции BTS. Контроллер этой базовой станции BSC управляет радиоресурсами во вверенной ему области и определяет путь прохождения сигнала к центру коммутации MSC мобильной связи. Этот MSC проводит аутентификацию IMSI-номера абонента, проверяя его регистрационную запись, которая содержится в домашнем регистре HLR сети этого абонента. При каждом включении мобильного терминала происходит обновление информации о местонахождении абонента, содержащейся в его HLR и в соответствующем VLR. Коммутационный центр MSC направляет запрос, содержащий IMSI-номер абонента, в регистр HLR, затем информация об этом абоненте передается в указанный в ответе гостевой регистр VLR. Из данных, содержащихся в HLR, узел коммутации MSC формирует также содержимое регистра идентификации оборудования EIR в целях отслеживания украденных, несанкционированно используемых или неисправных мобильных телефонов, что рассмотрено в разделе 13.9.

13.8. Функция взаимодействия IWF

Interworking Function (IWF) используется для услуг передачи данных и факсимильных сообщений с коммутацией каналов и, в общих чертах, представляет собой модемный пул. Напомним, что модемы и факсимильные аппараты преобразуют цифровые данные в аналоговый формат в разговорной полосе частот 0,3 – 3,4 кГц. Для цифровых систем GSM то же самое непосредственно сделать нельзя, поскольку вся передача ведется в цифровой форме, и передавать данные в радиointерфейсе так, чтобы эмулировать аналоговый сигнал, не представляется возможным. Более того, удаленный телефонный модем или факсимильный аппарат рассчитан на вызов другим модемом или факсимильным аппаратом. Поэтому вызов, требующий передачи данных, из MS поступает на IWF, а затем уже маршрутизируется из IWF дальше. Внутри IWF для обслуживания этого вызова закрепляется модем. Для услуги передачи факсов вместо модема данных используется факс-модем. В классических сетях GSM поддерживаются услуги передачи данных и факсов со скоростью 9,6 кбит/с.

13.9. Регистр идентификации оборудования EIR

В состав оборудования GSM входит также регистр идентификации оборудования *EIR (Equipment Identity Register)*, содержащий международный идентификатор мобильного телефона. Как уже говорилось выше, абонента идентифицирует не телефонный аппарат, а информация на SIM-карте. Поэтому в значительной степени сам используемый абонентом телефонный аппарат не важен. С другой стороны, для сети может оказаться необходимым проверить, что конкретный телефонный аппарат (мобильное устройство) или конкретная модель этого аппарата допустимы. Например, сетевой Оператор может захотеть ограничить доступ с телефона, который не был сертифицирован, или ограничить доступ с телефона, который был похищен. В лекции 15, посвященной нумерации, будет показано, что в каждой трубке хранятся 15 цифр идентификатора *IMEI (International Mobile Equipment Identity)* или 16 цифр *IMEISV (International Mobile Equipment Identity and Software Version Number)*. Как IMEI, так и IMEISV имеют структуру, которая содержит *Type Approval Code (TAC)* и *Final Assembly Code (FAC)*.

Коды TAC и FAC объединяют, чтобы указать сборку и модель трубки и место ее производства. IMEI и IMEISV содержат также специальный серийный номер для рассматриваемого ME. Единственное различие между IMEI и IMEISV – это указание номера версии программного обеспечения.

В EIR хранятся три списка – черный, серый и белый. Эти списки содержат значения TAC и FAC, а в черном списке может находиться и полный номер IMEI или номер IMEISV. Если данный TAC, комбинация TAC/FAC или полный IMEI появляется в черном списке, значит вызовы с этого мобильного терминала запрещены. Если эти значения появляются в сером списке, то вызовы могут быть, а могут и не быть запрещены по усмотрению Оператора. Когда они появляются в белом списке, вызовы разрешены. Обычно включенный в белый список код TAC указывает модель трубки, которая была сертифицирована ее производителем. В свою очередь, EIR является опциональным сетевым элементом, и некоторые Операторы предпочитают не устанавливать EIR.

13.10. SMS-центр

На рис. 13.1 показан также *центр услуг обмена короткими сообщениями SMSC (Short Message Service Center)*, который представляет собой узел, поддерживающий хранение и пересылку коротких сообщений к мобильным терминалам и от них. Обычно короткие сообщения – это текстовые сообщения длиной до 160 символов латинского алфавита, когда для кодирования текста SMS используются кодовые комбинации с длиной равной 7. Это связано с тем, что максимальный объем SMS-сообщения составляет 1120 битов, откуда и определяется максимальное количество символов $1120/7=160$. Как только в тексте сообщения появляется символ кириллицы, используется кодирование Unicode с двумя байтами на символ. Тогда максимальный объем короткого сообщения становится равным $1120/16=70$. Если сообщение содержит больше символов, оно сегментируется, а плата взимается за общее количество сегментированных сообщений.

Логически центр SMSC имеет три компонента:

- сам *Service Center (SC)*, который хранит сообщения и взаимодействует с другими системами, такими как оборудование электронной почты или речевой почты;
- шлюз *SMS-Gateway MSC (SMS-GMSC)*, который используется для доставки коротких сообщений мобильному абоненту; по аналогии с GMSC центр SMS-GMSC запрашивает в HLR информацию о местонахождении абонента, а потом пересылает короткое сообщение к соответствующему MSC, откуда оно отправляется абоненту;
- узел *SMS-Interworking MSC*, принимающий короткие сообщения из MSC, который обслуживает абонента, передающего короткое сообщение, пересылает такие сообщения в SC, а тот отправляет их затем в конечные пункты назначения.

Включение SC, SMS-GMSC и SMS-IWMSC в состав одной и той же платформы очень распространено, хотя некоторые реализации допускают применение автономного SC. В таких реализациях функция SMS-GMSC может быть включена в состав GMSC, а функция SMS-IWMSC – в состав MSC/VLR. К SMS-центру мы еще вернемся в лекции 17 при обсуждении услуг СПС.



Ключевые слова: SIM-карта, мобильный терминал MS, центр коммутации подвижной связи MSC, регистр HLR, гостевой регистр местонахождения VLR, центр аутентификации AuC, регистр идентификации оборудования EIR, базовая станция BS, контроллер базовой станции BSC, SMS-центр.



Контрольные вопросы

1. Какова структура современной сети GSM?
2. Из каких подсистем и блоков состоит сеть GSM? Объясните их назначение.
3. Что означает понятие «роуминг»?
4. Стандарт GSM разработан:
 - a) ITU-T,
 - b) 3GPP,
 - c) ETSI,
 - d) IETF.
5. Какой элемент структуры сети GSM отвечает за процедуру хэндовер?
6. Какой из регистров сети GSM отвечает за хранение информации о местонахождении абонента?
7. Какую информацию содержат домашний и гостевой регистры?



Задачи и упражнения

1. Соберите в сети Интернет статистику распространения сетей GSM в России, в мире.



Литература к лекции 13

- 13.1. Закиров З.Г., Надеев А.Ф., Файзуллин Р.Р. Сотовая связь стандарта GSM. Современное состояние, переход к сетям третьего поколения. – М.: Эко-Трендз, 2004. – 264 с.
- 13.2. Макаров С.Б., Певцов Н.В., Попов Е.А., Сиверс М.А. Телекоммуникационные технологии. Введение в технологии GSM. – М.: Академия, 2006. – 256 с.

Лекция 14

Системы сигнализации СРС

*Каждый день что-то новое в мире вершит небосвод,
Перед чем отступает людской остроумный расчет.
Мухаммед Аззахири Ас-Самарканди*

14.1. Мобильные приложения стека протоколов ОКС

Вряд ли даже самые остроумные люди, разработавшие стек протоколов ОКС7 в 70-х годах прошлого века, строили расчет на его использование для задач поддержки роуминга и хэндовера. Тогда эти задачи трудно было предвидеть, но когда стали строиться сети GSM, а потом – UMTS, стек протоколов ОКС пришелся как нельзя более кстати. Точно такую же закономерность отражают написанные еще в XII веке строки великого персидского поэта, выбранные в качестве эпиграфа к этой лекции. Ее же иллюстрирует и история ряда других телекоммуникационных технологий из этого учебника. И все же разработка стека ОКС7 выделяется из общего ряда. Она оказалась настолько удачной, что в ITU уже не предпринимались попытки разработать какую-нибудь систему сигнализации №8¹. Так и остались в истории семь международных систем сигнализации от №1 до №7 плюс две региональные R1 и R2, о чем говорилось в лекции 4.

¹Идея ОКС №8 высказывалась в ITU японскими коллегами, в свое время предлагавшими специфицировать скорость в сигнальном звене 2048 кбит/с, но такая разработка не проводилась.

В стек ОКС органично вписался и протокол *MAP (Mobile Application Part)*, первая версия которого появилась в процессе развития мобильной связи еще в 1988 году. То же произошло и с другим протоколом *CAP (CAMEL Application Part)* стека ОКС7, рассмотрение которого мы отложим до лекции 17, посвященной услугам СПС.

То же справедливо и в отношении разработанного для Северной Америки протокола ANSI-41, который функционально идентичен MAP и располагается на том же уровне в стеке протоколов ОКС7, представленном на рис. 4.4. Информация MAP и ANSI-41 транспортируется и инкапсулируется протоколами нижележащих уровней MTP1, MTP2, MTP3, SCCP и TCAP, рассмотренными в лекции 4.

Протокол MAP используется для определения операций между сетевыми компонентами СПС, такими как MSC, BTS, BSC, HLR, VLR, EIR, MS, а также SGSN/GGSN в GPRS (*General Packet Radio Service*). Всего с целью поддержки GSM определено пять приложений MAP для подсистемы коммутации (MAP-MSC, MAP-VLR, MAP-HLR, MAP-EIR, MAP-AuC) и приложение BSSAP (*BSS Application Part*) для контроллера базовых станций BSC.

Основные услуги MAP специфицированы для сетей GSM, а затем несколько операций было добавлено для поддержки GPRS и для сетей 3G, о чем речь пойдет в лекциях 17 и 16 соответственно. Подсистема MAP представляет собой протокол, который позволяет узлам сети GSM обмениваться информацией друг с другом с целью предоставления таких услуг, как роуминг, хэндовер, маршрутизация входящих вызовов и SMS, аутентификация абонента.

14.2. Модель протокола MAP

Базой для этой разработки послужила модель сети подвижной связи, названная *моделью «трех сосисок»* (рис. 14.1), которая описывает метод перевода управления обслуживанием вызова (хэндовер) от одного центра коммутации к другому, и протокол MAP, поддерживающий мобильность абонентов между разными сетями подвижной связи. Роль «сосисок» на рис. 14.1 выполняют две разные СПС и фиксированная сеть связи – телефонная сеть общего пользования, изученная по лекциям части 1 книги. Сама модель полностью абстрактна, не зависит от используемой в СПС технологии и от физической структуры сетей.

Поясним модель, показанную на рис. 14.1. Ранее в лекциях части 1 подразумевалось, что местонахождение абонента является постоянным и определяется планом нумерации, который используется в сети. В сетях же подвижной связи местонахождение абонента может существенно изменяться без специального уведомления

сети – например, абонент может выключить свой сотовый телефон в аэропорту, а через пару часов снова включить его в СПС совсем другой страны. Для входящих к мобильным абонентам вызовов не существует непосредственной связи между местонахождением абонента и номером сотового телефона².

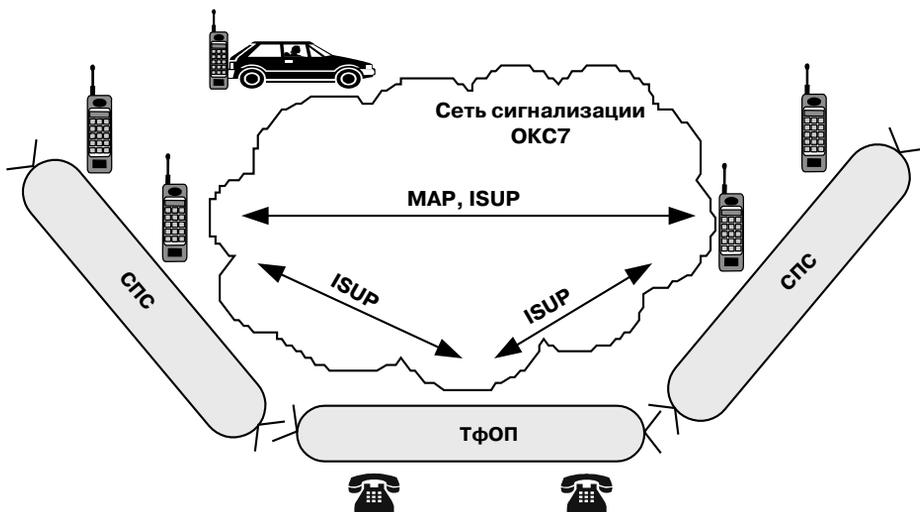


Рис. 14.1. Модель управления обслуживанием вызовов между абонентами двух СПС и ТФОП

Перед тем как организовать передачу вызова к мобильному терминалу вызываемого абонента, нужно получить в реальном времени информацию о его местонахождении и другую служебную информацию, а потому такие вызовы требуют обмена большим количеством служебных сигналов, не относящихся непосредственно к вызову и/или к сеансу связи.

Сама изображенная на рис. 14.1 модель появилась еще до разработки стандарта GSM и первоначально была введена для упоминавшихся в лекции 12 систем NMT-450. Уже в сетях NMT-450 были введены базы данных двух типов: гостевой регистр VLR и домашний регистр HLR.

Как уже обсуждалось выше, каждый VLR обслуживает одну зону, в границах которой мобильные терминалы могут перемещаться без обновления данных о своем местонахождении. Обновление этих данных производится при переходе абонента из одной зоны обслуживания в другую. Регистр VLR содержит информацию обо всех мобильных терминалах, которые находятся в данный момент на территории его зоны обслуживания, и информацию, необходимую для установления соединений с этими терминалами.

² Эта связь обсуждалась в лекции 5, посвященной нумерации в ТФОП. Нумерация в СПС рассматривается в лекции 15.

Кроме того, VLR управляет процессом коммутации в центре MSC, являясь в этом смысле аналогом узла управления услугами Интеллектуальной сети SCP, обсуждавшегося в лекции 6. Освежить знания, полученные в лекции 6, весьма уместно, поскольку в сетях подвижной связи управление опознаванием, обновление данных о местонахождении мобильного терминала, управление маршрутизацией и дополнительными услугами – все это поддерживается процедурами, аналогичными процедурам IN.

HLR является базой данных, в которой содержится информация об услугах и возможностях, предоставляемых мобильному абоненту, а также о его местонахождении в настоящее время. Количество HLR определяется емкостью сети GSM (чаще всего это только один HLR на сеть).

Количество VLR в сети обычно определяется числом MSC. Как показано на рис. 13.1 предыдущей лекции, кроме HLR и VLR есть еще и другие сетевые элементы: регистры идентификации оборудования EIR, системы речевой почты, SMS-центры, которые тоже соединяются с MSC и между собой с помощью протокола MAP (пунктирные линии на рис. 13.1).

14.3. Интерфейсы Abis, B, A

На рис. 13.1 показаны каналы передачи сигнальной и пользовательской информации (речевой, SMS и др.) сплошными линиями, а каналы передачи только сигнальной информации – пунктирными. Как видно на рис. 13.1, сигнальная информация передается между MS и сетью, между сетевыми элементами и при взаимодействии с другими сетями. В основе протоколов сигнализации лежит стек OKC7 и протокол LAPD сети ISDN. Рассмотрим сетевые аспекты этих протоколов и соответствующих интерфейсов несколько подробнее (рис. 14.2).

Интерфейс между BTS и BSC называют *Abis-интерфейсом*. Большинство свойств этого интерфейса стандартизовано, кроме той части, которая связана с конфигурацией и с технической эксплуатацией станций BTS, из-за чего BTS обычно соединяется с BSC того же производителя.

Один или несколько контроллеров BSC соединяются с центром коммутации подвижной связи MSC, управляющим установлением соединения, маршрутизацией вызова и многими другими функциями. Из-за того что абоненты СПС перемещаются, MSC – помимо рассмотренных в лекциях части 1 задач обычной АТС – обязан обеспечивать ряд специализированных функций, связанных, в частности, с определением местонахождения мобильного терминала.

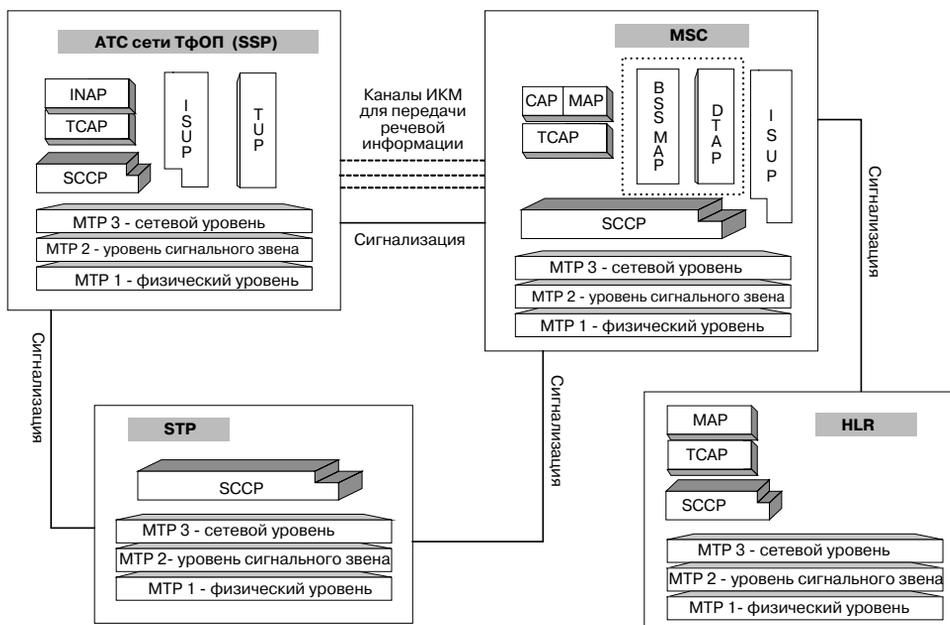


Рис. 14.2. Стеки протоколов СПС

Формально интерфейс между MSC и VLR, называемый В-интерфейсом, стандартизован, но никто из производителей оборудования, как правило, не разрабатывал автономные VLR: оба они, MSC и VLR, всегда содержатся на одной и той же платформе, и интерфейс между ними является внутрифирменным.

Интерфейс между BSC и MSC известен под названием А-интерфейс и представляет собой интерфейс на базе ОКС7, использующий протокол SCCP, который обсуждался в лекции 4. Над ним в стеке сигнализации находится подсистема BSSAP – протокол, используемый для коммуникации между MSC и MS. Поскольку MS обменивается информацией с BSC и MSC отдельно, BSSAP делится на две части: протокол управления BSSMAP (*BSS Management Application Part*), который обеспечивает процедуры интерпретации результатов обработки текущих вызовов и управления ресурсами подсистемы BSS, и протокол сквозной передачи сообщений DTAP (*Direct Transfer Application Part*).

Протокол DTAP содержит те сообщения, которые прозрачно проходят через BSS от MSC к MS или наоборот. Стеки этих протоколов представлены на рис. 14.2, который является, в определенном смысле, расширением рис. 4.4 из лекции 4.

В отличие от рис. 13.1, на рис. 14.2 сплошными линиями показана передача сигнальной информации, а пунктирными – передача речевой информации.

В остальном же рис. 14.2 можно считать результатом объединения двух рисунков: стека сигнализации на рис. 4.4 и структуры сети GSM на рис. 13.1.

14.4. Обновление данных о местонахождении абонента с помощью MAP

Выше отмечалось, что основными процедурами MAP являются изменение абонентских данных в регистрах HLR и VLR, передача информации о начислении платы, регистрация местонахождения абонента для сохранения возможности передачи исходящих и приема входящих вызовов (обеспечение возможности роуминга), перерегистрация и стирание предыдущей информации о местонахождении абонента и пр.

Рассмотрим подробнее процедуру *обновления информации о местонахождении (Location Update)* мобильного терминала в исходном состоянии (без соединения).

Дело в том, что для минимизации объема транзакций с HLR этот регистр содержит только информацию о местонахождении MSC/VLR, к которым в данный момент подключен абонент, тогда как этот VLR содержит более детальную информацию о *зоне местонахождения абонента*, обычно определяемой контроллером BTS.

Таким образом, VLR требует, чтобы его информация о местонахождении обновлялась каждый раз, когда абонент меняет *зону местонахождения (Location Area)*, а HLR требует обновления своей информации о местонахождении абонента только тогда, когда тот меняет *зону обслуживания*, т.е. меняет VLR.

Обновление этой информации может происходить, когда:

- мобильный терминал MS только что включился;
- MS переместился в пределах зоны того же VLR, но в новую зону местонахождения;
- MS переместился в новую зону обслуживания (к новому VLR);
- сработал таймер обновления информации о местонахождении.

Когда мобильный терминал абонента включается первый раз, осуществляется сканирование радиосигнала на предмет выбора соты с наиболее мощным принимаемым сигналом, затем декодируется информация, которая циркулярно передается станцией BTS, и мобильный терминал регистрируется в соте с самым сильным принимаемым сигналом (при условии, что эта сота не запрещена). Только после этого мобильный терминал регистрируется в сети, иницилируя процесс *обновления информации о своем местонахождении*, как показано на рис. 14.3.

Представленная в сценарии на рис.14.3 последовательность начинается запросом канала. Этот запрос передается из мобильного терминала в подсистему BSS. Запрос включает в себя данные о причине установления связи – обновлении сведений о местонахождении MS. Далее BSS назначает канал *SDCCH (Stand-alone Dedicated Control Channel)* для этого мобильного терминала и дает ему команду перейти на этот назначенный канал, передавая сообщение *Immediate Assignment*.

По получении этого сообщения мобильный терминал переходит на назначенный SDCCH и передает запрос обновления информации о своем местонахождении. Запрос содержит данные, включающие в себя идентификатор зоны местонахождения, полученный мобильным терминалом, и идентификатор мобильного терминала.

Идентификатором мобильного оборудования обычно служит либо идентификатор International Mobile Subscriber Identity (IMSI), либо идентификатор Temporary Mobile Subscriber Identity (TMSI), о чем мы поговорим в следующей лекции, посвященной нумерации.

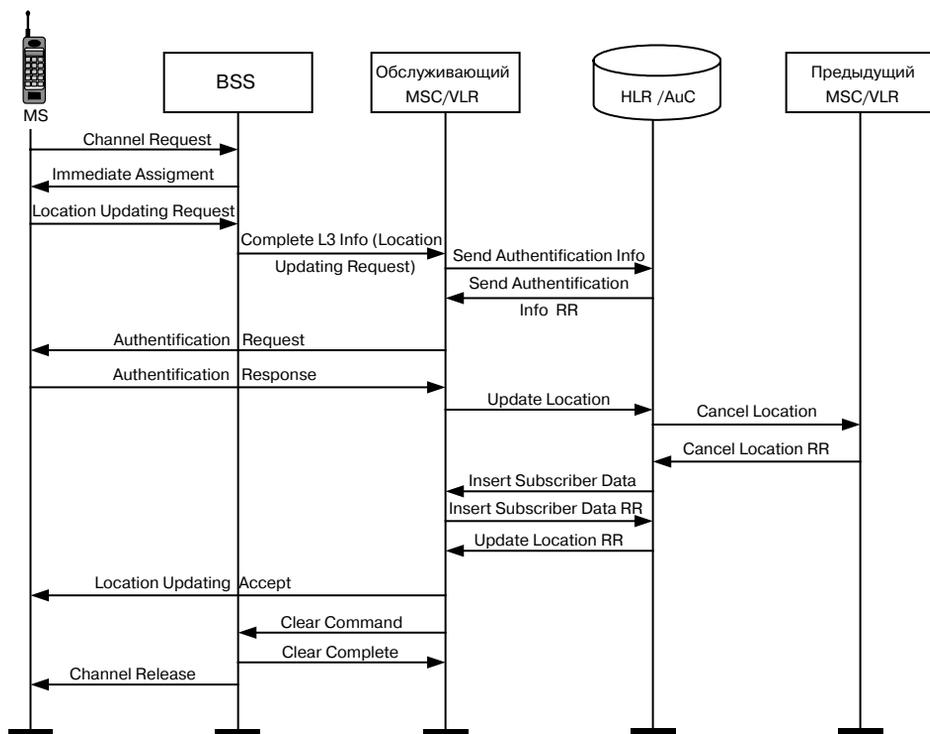


Рис. 14.3. Процедура обновления данных о местонахождении абонента в сети GSM

Этот идентификатор передается через BSS в MSC с помощью типового сообщения *Complete Layer 3 Info*, которое входит в состав SCCP Connection Request протокола SCCP. Если мобильный терминал пытается зарегистрироваться с помощью TMSI, а этот TMSI не известен в MSC/VLR, то MSC/VLR может запросить у мобильного терминала передачу IMSI³. Кроме того, MSC/VLR может запросить у мобильного терминала идентификатор самого телефонного аппарата IMEI для проверки.

После приема запроса об изменении информации о местонахождении MSC/VLR может попытаться произвести аутентификацию терминала. Если MSC/VLR уже не имеет информации для аутентификации, он запрашивает ее у HLR, используя операцию *Send Authentication Info* протокола MAP. С помощью этого же протокола домашний регистр HLR/AuC передает *Return Result (RR)* подсистемы MAP с несколькими векторами аутентификации, известными в GSM как триплеты. Каждый триплет содержит случайное число (RAND), а также параметр Signed Response (SRES). Узел MSC передает в мобильный терминал запрос аутентификации *Authentication Request*, который содержит только RAND.

В мобильном терминале выполняется такой же расчет, какой был сделан в HLR/AuC, затем он передает *Authentication Response*, содержащий параметр SRES. В свою очередь, MSC/VLR проверяет соответствие SRES, принятого от мобильного терминала, параметру SRES, принятому от HLR/AuC. Если соответствие подтверждается, MS считается аутентифицированным.

На этой стадии MSC/VLR, если не обнаруживает у себя в VLR данные об этом мобильном терминале, начинает операцию *Update Location* протокола MAP, чтобы информировать HLR о нахождении абонента в своей зоне обслуживания.

Сообщение в HLR содержит IMSI абонента и *Global Title Address (GTA)* от MSC/VLR. Регистр HLR передает в VLR, где ранее был зарегистрирован абонент (если таковой VLR имеется), сообщение *Cancel Location (отмена данных о местонахождении)* протокола MAP. Тогда этот предыдущий VLR удаляет все записанные данные, относящиеся к абоненту, и посылает в HLR сигнал *Return Result*.

Регистр HLR использует команду *Insert Subscriber Data* протокола MAP для того, чтобы информировать обслуживающий VLR о совокупности относящихся к рассматриваемому абоненту данных, которые включают в себя информацию о дополнительных услугах. В свою очередь, этот VLR подтверждает получение информации.

Затем HLR передает *Return Result*, после получения которого MSC/VLR передает в мобильный терминал сообщение принятия обновления местонахождения *DTAP Location Updating Accept*.

³Эта опция на рис. 14.3 не показана.

Затем он ликвидирует соединение SCCP с BSS. Это заставляет BSS освободиться от SDCCN путем передачи в мобильный терминал сообщения Channel Release. Теперь, для обобщения материалов четвертой лекции части 1 и этой лекции, рассмотрим входящий и исходящий вызовы при связи между СПС и ТфОП.

14.5. Входящий вызов в СПС из ТфОП

В случае входящего вызова к мобильному терминалу (рис. 14.4) абонент ТфОП набирает номер мобильного абонента MSISDN (Mobile Station ISDN Number), структура которого рассматривается в следующей лекции. На рис. 14.4 показан базовый входящий вызов к мобильному абоненту из ТфОП. Он начинается с поступления на GMSC сообщения IAM протокола ISUP, упоминавшегося в лекции 4.

Это сообщение содержит списочный номер вызываемого абонента MSISDN, на основании которого в GMSC определяется соответствующий этому абоненту HLR и вызывается операция *SRI (Send Routing Information)* протокола MAP в направлении к этому HLR, чтобы выяснить местонахождение мобильного терминала вызываемого абонента.

Информация SRI содержит MSISDN абонента для определения IMSI. Благодаря заранее произошедшему обновлению данных о местонахождении абонента HLR знает тот MSC/VLR, который сейчас обслуживает этого абонента, и запрашивает в этом MSC/VLR операцию *PRN (Provide Roaming Number)* протокола MAP, которая содержит IMSI абонента. Этот MSC/VLR назначает из пула временный номер *MSRN (Mobile Station Roaming Number)* для данного вызова и сообщает этот номер в HLR. В свою очередь, HLR сообщает номер MSRN⁴ в GMSC. Полученный MSRN для ТфОП является реальным (пересчитанным) номером вызываемого абонента. Его можно использовать для маршрутизации вызова через любую промежуточную сеть между GMSC и гостевым MSC/VLR, что фактически и делает GMSC. Он маршрутизирует вызов к MSC/VLR путем передачи IAM с MSRN в качестве номера вызываемой стороны. После того как это сообщение IAM принято, MSC/VLR получает оттуда MSRN, узнает IMSI, для которого был назначен MSRN, после чего номер MSRN можно вернуть в пул для использования другим вызовом. Далее MSC/VLR направляет сообщение *Paging Request* в подсистему BSS, соответствующую зоне местонахождения абонента, для посылки вызывного сигнала мобильному абоненту. После приема вызова мобильный терминал пытается получить доступ к сети с помощью передачи сообщения *Channel Request*, на которое подсистема BSS отвечает сообщением *Immediate Assignment* с указанием мобильному терминалу переключиться на SDCCN.

⁴ Структура номеров MSRN, MSISDN и IMSI рассматривается в лекции 15.

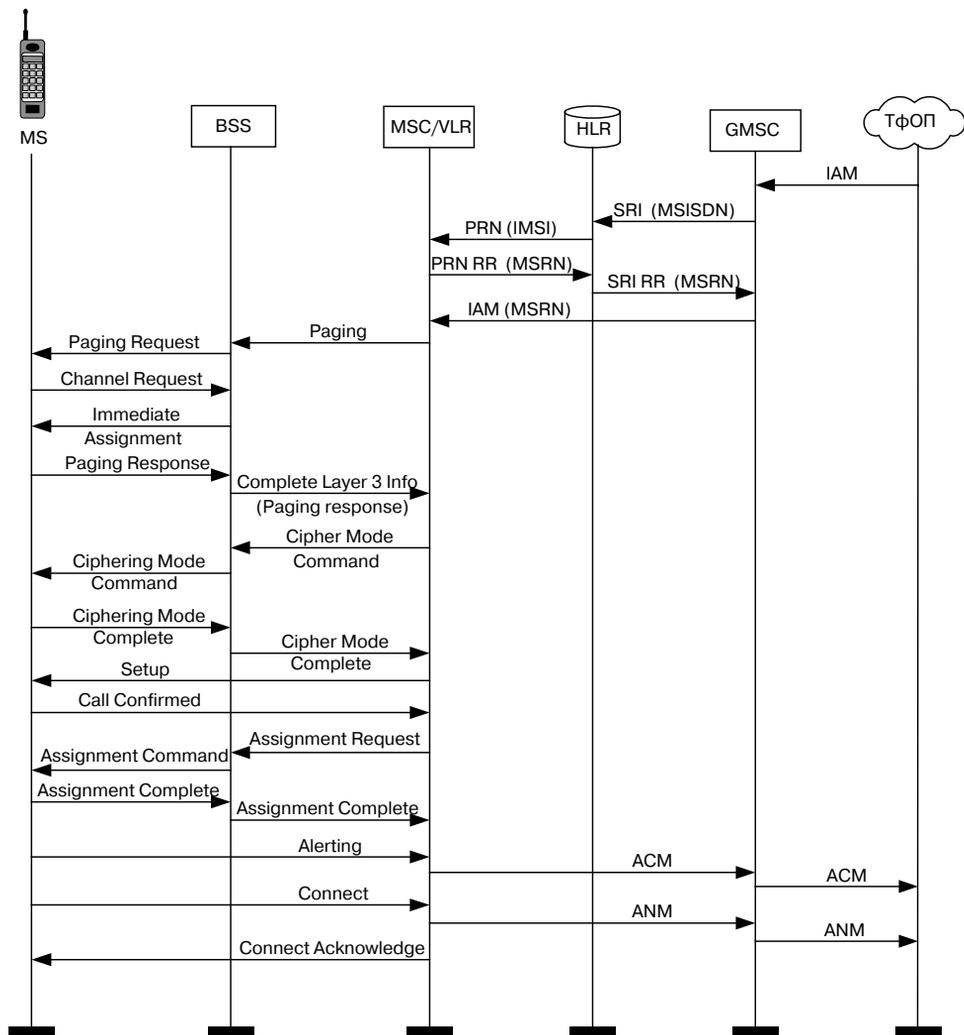


Рис. 14.4. Вызов из ТфОП в СПС

Мобильный терминал переключается на этот SDCCH и информирует сеть, что он отвечает на вызов. Тогда BSS пересылает ответ в MSC/VLR. На этой стадии MSC инициирует шифрование, так как передаваемые через радиointерфейс речь и данные должны быть зашифрованы. После получения сообщения *Setup* мобильный терминал передает в MSC сообщение *Call Confirmed*, указывающее, что он располагает необходимой для установления соединения информацией.

Сообщение *Call Confirmed* действует как команда MSC установить тракт до мобильного терминала. Поэтому MSC начинает процедуру назначения, которая устанавливает канал между MSC и BSS и канал между BSS и MS (вместо SDCCH).

После создания канала в мобильный терминал абонента посылается вызов, а в MSC передается сообщение *Alerting*. Это сообщение инициирует генерацию акустического сигнала контроля посылки вызова и передачу сообщения ACM обратно к исходящей АТС телефонной сети общего пользования через GMSC.

Как только вызываемый пользователь ответит, мобильный терминал передает в MSC сообщение *Connect*. Оно инициирует передачу из MSC сообщения ANM обратно к исходящей АТС и открытие двухстороннего тракта. И, наконец, в вызываемый мобильный терминал передается сообщение *Connect Acknowledgement*, и начинается разговор.

14.6. Исходящий вызов из СПС в ТФОП

Сценарий базового вызова, исходящего от мобильного терминала и адресованного абоненту ТФОП, читателю предлагается разработать самостоятельно.

Подскажем только, что после того как BSS выделила мобильному терминалу SDCCH, этот вызывающий терминал отправляет в MSC/VLR сообщение *CM Service Request*⁵, содержащее информацию о типе услуги, которую хочет вызвать мобильный терминал (в предлагаемом сценарии это вызов с мобильного терминала, но может быть также и другая услуга, например, отправка SMS).

По аналогии с рис. 14.4 сценарий исходящего вызова заканчивается тем, что после ответа с вызываемого телефона ТФОП пересылается сообщение *Answer Message (ANM)*. Это приводит к открытию контроллером MSC двухстороннего тракта до мобильного терминала, а также к передаче из MSC в мобильный терминал сообщения *Connect*.

После приема сообщения *Connect* вызывающий мобильный терминал отвечает сообщением *Connect Acknowledge*, после чего обе стороны ведут разговор, а с точки зрения начисления платы начат отсчет времени разговора в сети подвижной связи.

⁵Здесь CM означает Connection Management.



Ключевые слова: стек протоколов ОКС7, протокол MAP, модель «трех сосисок», HLR, VLR, интерфейсы A, B, Abis, подсистема BSSAP, протокол управления BSSMAP, подсистема сквозной передачи сообщений DTAP, обновление информации о местонахождении абонента, входящие и исходящие вызовы СПС-ТФОП.



Контрольные вопросы

1. Как появился протокол MAP?
2. Между какими сетевыми элементами СПС используется MAP?
3. Покажите соответствие рис. 4.4 и 14.2.
4. Покажите соответствие рис. 13.1 и 14.2.
5. Опишите последовательность событий на рис. 14.4.



Задачи и упражнения

1. Разработайте сценарий, подобный тому, что изображен на рис. 14.4, но для исходящего вызова от мобильного терминала к телефону ТФОП, начало и конец которого описаны в параграфе 14.6.
2. Разработайте сценарий, подобный сценарию из предыдущей задачи, но для исходящего вызова с мобильного терминала на мобильный терминал.



Литература к лекции 14

- 14.1. Гольдштейн Б.С. Сигнализация в сетях связи. Том 1. 4-е изд. – М.: Радио и связь, 2005. – 448 с.
- 14.2. Росляков А.В. ОКС № 7: архитектура, протоколы, применение. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 320 с.

Лекция 15

Система нумерации СПС

*Если из инструментов у тебя только молоток,
все проблемы выглядят как гвозди.
Фрэнсис Фукуяма*

15.1. Отличия нумерации для мобильной связи

Постулат, сформулированный американским политологом Фрэнсисом Фукуямой, полностью объясняет принцип нумерации в СПС. Дело в том, что возникнув, если не непосредственно в среде, то в полном окружении традиционной ТфОП, новые СПС не могли не позаимствовать уже хорошо проработанные принципы телефонной нумерации, разве что заменив рассмотренные в лекции 5 коды зон нумерации *ABC* на так называемые *негеографические коды DEF*. Радикальных изменений в системе адресов, совершенных в Интернет (о чем мы поговорим в лекции 25 третьей части книги), мобильные сети не сделали. И все же, сами физические принципы мобильной связи, как и международная и российская практика построения СПС, породили определенные различия планов нумерации. Следует отметить особенности мобильной телефонной связи:

- выделение разным Операторам СПС отдельных пулов абонентских номеров (например, номера 92xxxxxxx для Мегафона, номера 905xxxxxx для Вымпелкома и т.п.);
- необходимость поддержки функций мобильности терминала (хэндовер и роуминг);

- возможность обращения к идентификационным данным терминала (IMEI) для получения информации, которая дополняет сведения об абонентском номере, содержащемся в SIM-карте;
- актуальность ряда новых услуг, которые поддерживаются в сетях мобильной связи.

Перечисленные выше особенности свойственны так называемым наземным сетям подвижной связи. Если посмотреть на территорию, в границах которой обеспечивается мобильная связь, то несложно обнаружить три факта.

Во-первых, мобильная связь не доступна при перемещении по морям и океанам (а в ряде случаев – по крупным рекам и озерам). Во-вторых, мобильный терминал не может работать во время полетов на воздушных судах. В-третьих, даже на суше остаются очень большие – по занимаемой площади – территории, в границах которых мобильная связь не рациональна.

Такая ситуация стимулирует создание глобальной системы спутниковой мобильной связи, которая позволяет обслуживать абонентов, терминалы которых могут находиться на суше, воде или в воздушном пространстве. Исключениями, по всей видимости, будут ситуации, когда терминал находится под землей (в шахте или в пещере), под водой (в подводной лодке или в ином подобном аппарате) или на очень большой высоте (например, в космическом пространстве). Для создания глобальной системы спутниковой мобильной связи предусмотрены специфические решения в части плана нумерации. Их пример приведен в нижней части показанного в лекции 5 рис. 5.3, который иллюстрирует возможности нового пятнадцатизначного плана нумерации.

Отметим еще одно важное для СПС обстоятельство. Коммутационное оборудование, используемое в эксплуатируемых сетях мобильной телефонной связи, представляет собой современную цифровую станцию с программным управлением. Это означает, что на план нумерации не накладываются ограничения, которые обусловлены функциональными возможностями аналоговых коммутационных станций. Программное управление позволило реализовать эффективный план нумерации, обеспечивающий введение новых услуг, и поддерживать все необходимые дополнительные услуги.

15.2. Нумерация в GSM

15.2.1. Идентификатор IMSI

Каждому абоненту присваивается уникальный идентификатор, называемый *IMSI* (*International Mobile Subscriber Identity*).

Он является однозначным идентификатором абонента в сети GSM и хранится в SIM. О пластиковой SIM-карте со встроенной микросхемой, которая содержит подробные сведения об абоненте и обеспечивает предоставление услуг, уже говорилось в лекции 13. Напомним, что будучи вставленной в телефонный аппарат, она и превращает его в мобильный терминал и используется для биллинга, идентификации абонента и его авторизации при роуминге.

Идентификатор IMSI специфицирован в рекомендации ITU-T E.212, а также в документах GSM 03.03 и в 3GPP TS 23.003. Его структура показана на рис. 15.1.

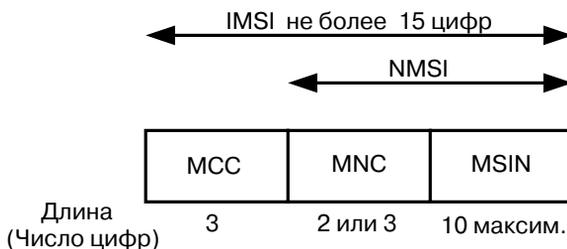


Рис. 15.1. Структура IMSI

Три цифры кода *MCC* (*Mobile Country Code*) определяют страну, на территории которой находится домашняя сеть мобильного абонента. Код *MNC* (*Mobile Network Code*) определяет домашнюю СПС абонента. Номер *MSIN* (*Mobile Station Identification Number*) определяет самого абонента. Полям MNC+MSIN присвоено наименование «идентификатор *NMSI*» (*National Mobile Station Identity*).

С учетом этого уточним понятие *домашняя сеть*. В предыдущих лекциях понималось, что это сеть, на услуги которой подписывается пользователь, и которая содержит информацию об абоненте в своем HLR. Теперь к этому можно добавить еще одно определение *домашней сети* как сети, где коды Mobile Country Code и Mobile Network Code являются такими же, как в идентификаторе IMSI абонента.

Административное управление MNC входит в обязанности национальных администраций связи, например, Министерства связи и массовых коммуникаций России, а сетевые Операторы обычно отвечают за организацию и администрирование MSIN в соответствии с MNC, который назначил регулирующий государственный орган. Ниже мы рассмотрим коды MCC и MNC.

15.2.2. Идентификатор TMSI

Идентификатор TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) определяется в 3GPP TS 23.003 и фактически является псевдонимом, который использует гостевой регистр VLR (а также SGSN в сетях с возможностями GPRS) для защиты конфиденциальности абонента. Напомним, что о гостевом регистре VLR было рассказано в предыдущей лекции. Идентификатор же TMSI временно используется в VLR как замена IMSI, чтобы ограничить количество рассылок IMSI через радиointерфейс, дабы злоумышленники не могли использовать IMSI для идентификации абонента GSM. Идентификатор TMSI присваивается во время процедуры обновления данных о местонахождении абонента, а VLR и узлы SGSN должны уметь увязывать этот TMSI с IMSI терминала, которому он присвоен.

Обычно VLR назначает TMSI для абонентского терминала во время начальной транзакции абонента с MSC, например, при обновлении данных о его местонахождении. Поскольку TMSI имеет только локальное значение (в границах зоны контролируемой VLR), каждый сетевой администратор может выбрать его структуру в соответствии со своими нуждами. Чтобы исключить двойное назначение в условиях неисправности/восстановления, обычно считается целесообразным привязывать часть TMSI к текущему времени.

15.2.3. Номер MSISDN

Номер MSISDN – это номер, который набирает вызывающий абонент, чтобы связаться с вызываемой стороной. Другими словами, это списочный номер мобильного абонента. Он специфицирован в документе GSM 03.02. Этот параметр относится к одному из номеров ISDN, который присвоен мобильному абоненту в соответствии с Рекомендацией ITU-T E.213. Абонент может иметь на своей SIM-карте несколько MSISDN. Примером служат MSISDN для речи и MSISDN для факсов. На рис. 15.2 показан формат MSISDN.



Рис. 15.2. Структура MSISDN в соответствии с рекомендацией ITU-T E.164

Код *NDC (National Destination Code)* определяет зону нумерации на территории страны и/или в сети. Код *CC (Country Code)* определяет страну или географический регион в плане нумерации национальной сети связи. Номер *SN (Subscriber Number)* определяет абонентский терминал в сети или в зоне нумерации.

15.2.4. Номер MSRN

Номер *MSRN (Mobile Station Roaming Number)* специфицирован в документе GSM 03.03 и используется исключительно для входящего вызова. Он является временным идентификатором, который служит для маршрутизации вызова от шлюзового MSC к обслуживающему MSC/VLR, то есть к MSC/VLR, в зоне обслуживания которого в данное время находится абонент. Регистр VLR назначает номер MSRN, когда он принимает от HLR запрос информации маршрутизации. Когда соединение завершается, MSRN возвращается в пул свободных номеров VLR.

15.2.5. Идентификатор IMEI

Как отмечалось в лекции 13, каждое абонентское устройство ME имеет уникальный идентификатор, *IMEI (International Mobile Equipment Identity)*, который является, по сути, заводским номером и постоянно хранится в абонентском устройстве. IMEI содержит не только текущий номер устройства, но и указывает производителя, страну производства и сертификат типа ME.

Структура IMEI специфицирована в GSM 03.03 и в документе 3GPP TS 23.003. С использованием IMEI можно предпринять действия для поиска похищенного абонентского устройства, проверить при включении мобильного терминала его отсутствие или присутствие в черном/сером списке, а также отбраковать оборудование по техническим причинам и/или из соображений безопасности. Возможности IMEI позволяют отслеживать и предотвращать мошенническое использование абонентского терминала и, при некоторых обстоятельствах, производить специальное сетевое управление мобильными терминалами определенных типов.

На рис. 15.3 показана структура IMEI, где код сертификации *TAC (Type Approval Code)* определяет страну (первые две цифры TAC) и идентификатор сертификата ME данного типа. Код *FAC (Final Assembly Code)* определяет место, где телефон был собран.

	TAC	FAC	SNR	Резерв
Число цифр	6	2	6	1

Рис. 15.3. Структура IMEI

SNR (Serial Number) является индивидуальным порядковым номером, он однозначно идентифицирует каждый мобильный телефон (с определенными TAC и FAC).

Коды сборки FAC закреплены за производителями телефонов, например, номера 07 и 40 – за Motorola, 10 и 20 – за Nokia, 30 – за Ericsson, 40, 41 и 44 – за Siemens, 60 – за Alcatel, 80 – за Philips, 85 – за Panasonic. В развитие этого подхода 3GPP в настоящее время предлагает изменить структуру сообщения IMEI путем использования шестнадцатеричного кодирования, что позволит нумеровать 16,7 миллионов мобильных терминалов с помощью одной комбинации TAC+FAC.

Чтобы узнать IMEI своего мобильного телефона, введите комбинацию *#06# на клавиатуре. Полезно записать этот номер на тот случай, если мобильный телефон будет похищен.

15.3. План нумерации в сетях подвижной связи

На первом этапе развития сетей подвижной связи центры коммутации MSC подключались к городской телефонной сети на правах районной АТС. Мобильному абоненту выделялся абонентский номер из ресурса нумерации местной сети, на территории которой находилась сеть Оператора мобильной связи. Это означало, что для MSC в плане нумерации местной телефонной сети выделялся код *ab*. Чтобы отличить этот код от комбинаций цифр, характеризующих ПАТС в ГТС и в СТС, его иногда обозначают буквами *de*. При установлении соединений в пределах местной сети, включая связь с мобильными терминалами, набирался следующий номер:

- *abxxx* или *dexxx* в местных сетях с пятизначным планом нумерации;
- *abxxxx* или *dexxxx* в местных сетях с шестизначным планом нумерации;
- *abxxxxx* или *dexxxxx* в местных сетях с семизначным планом нумерации.

В качестве символа *d* обычно использовали цифру «9». Код зоны (ABC) для абонентов фиксированной и мобильной связи оставался единым в одной зоне нумерации ТфОП.

При выборе этого плана нумерации предполагалось, что количество абонентов мобильной связи не будет существенным. Такой вывод был сделан на основании анализа тарифов, использовавшихся в сетях мобильной связи на начальном этапе их развития, и уровня валового внутреннего продукта на душу населения.

К началу XXI века ситуация на рынке мобильной связи радикально изменилась. В результате возникновения открытого конкурентного рынка Операторов СПС, а также существенного прогресса в области создания современных аппаратно-программных средств и терминального оборудования, тарифы мобильной связи заметно снизились. В результате начался быстрый рост численности абонентов СПС, темпы которого превзошли самые оптимистичные ожидания. Вскоре количество абонентов мобильной связи, обычно определяемое численностью активных SIM-карт, превысило суммарную емкость местных телефонных сетей ТФОП.

Сложившаяся ситуация потребовала качественных изменений в плане нумерации, предназначенном для сетей мобильной связи. Выход был найден в выделении Операторам сотовых сетей негеографических кодов *DEF*, используемых вместо комбинаций *ABC*. Каждому Оператору, имеющему лицензию на предоставление услуг мобильной связи, присвоен один или несколько кодов *DEF*. Фактически это означает, что для абонентов мобильной связи была введена закрытая десятизначная система нумерации. Кроме десяти знаков – для установления соединения – необходимо набрать префикс выхода, в качестве которого в России пока используется цифра «8». В общем случае, при установлении связи от мобильного терминала к мобильному абоненту, подписанному на услуги в сети российского Оператора мобильной связи, должна быть набрана комбинация $+7(DEF)dexxxxx$. Здесь знак «+» означает префикс выхода в сеть международной связи (он бывает разным в разных странах), а цифра 7 – код России и Казахстана. Возможность набора номера в виде $+7(DEF)dexxxxx$ в сочетании с функциональными возможностями MSC позволяет использовать единые процедуры установления соединения, находясь в России или за ее пределами.

Для большинства абонентов мобильной связи, использовавших ранее местный номер вида *dexxxxx*, сохранилась возможность установления входящей связи набором семи цифр. Формально это означает, что $abxxxxx = dexxxxx$. В остальных случаях подобное равенство нельзя считать верным. Для установления исходящего соединения к абонентам фиксированной связи с мобильного терминала набирается префикс выхода на АМТС, а затем номер вида *ABCabxxxxx*. Если абонент мобильной связи находится в домашней сети, то установление соединения к абоненту местной сети, обслуживающей ту же территорию, что и домашняя сеть, возможно путем набора номера вида *abxxxxx*.

В ближайшие годы Администрация связи России планирует ввести семизначную закрытую систему нумерации во всех местных телефонных сетях. Тогда планы нумерации в сетях фиксированной и мобильной связи будут максимально унифицированы.

В настоящее время для российских крупнейших Операторов мобильной связи стандарта GSM (так называемая «большая тройка») выделены следующие коды *DEF*:

- ОАО «Вымпелком»: 903, 905, 906, 909, 960 – 969, 970 – 979;
- ОАО «Мегафон»: 920 – 929, 930 – 939;
- ОАО «Мобильные ТелеСистемы»: 910 – 919; 980 – 989.

В сетях фиксированной телефонной связи из-за ряда функциональных ограничений электромеханических систем коммутации коэффициент использования ресурса нумерации был определен в диапазоне 50 – 70%.

Сети подвижной связи стали создаваться на базе коммутационного оборудования с программным управлением. Оно позволяет значительно повысить коэффициент использования выделенного ресурса нумерации. Теоретически семь знаков номера в сетях подвижной связи позволяют назначить десять миллионов уникальных комбинаций.

Для оптимальной организации ряда эксплуатационных процессов абонентам одного субъекта Федерации, как правило, присваиваются номера с идентичными цифрами *de* под единым кодом *DEF*. Поэтому значение коэффициента использования ресурса нумерации хотя и меньше 100%, но выше, чем в сетях фиксированной связи.

15.4. Нумерация услуг СПС

На сети подвижной связи распространяется ряд принципов нумерации, принятых для ТфОП. Наличие программного управления позволяет ввести ряд современных услуг раньше, чем в сетях фиксированной связи.

В частности, некоторые Операторы мобильной связи уже выделили номер 112 для выхода к экстренным службам. Такое решение обусловлено возможностью «подмены» в *MSC* номера 112 реальным номером соответствующей службы. Существенно то, что абоненты СПС могут быстрее перейти на план нумерации, принятый в Европейском союзе.

Все услуги, разработанные для фиксированных телефонных сетей, доступны и с мобильных терминалов. С другой стороны, перечень дополнительных услуг в сетях подвижной связи представляется более внушительным.

Для нумерации некоторых услуг, относящихся к так называемым нетелефонным видам связи, используются – в дополнение к цифрам – символы «*» и «#». Например, абоненты компании «Мегафон» для доступа к балансу своего счета набирают такую комбинацию:

*100# (и попадают на интеллектуальную платформу «Протей», упоминавшуюся в лекции 6). Информация в этом случае отображается в виде текста и цифр на дисплее терминала. Речевые каналы для обмена подобной информацией не используются.

При передаче сообщений SMS и MMS часто используются процедуры, формально противоречащие тем правилам доступа к дополнительным услугам, которые приняты в ТФОП. Следует учесть, что в подобных ситуациях мобильный телефон используется как терминал обмена данными, а в некоторых случаях – даже как устройство получения видеoinформации. Тогда абонентские процедуры, по возможности, унифицируются с теми правилами, которые приняты для соответствующих телекоммуникационных сетей.

15.5. Перспективы развития плана нумерации СПС

В ближайшие годы сети подвижной связи будут развиваться в соответствии с концепцией мобильной связи третьего поколения 3G. Базовые положения концепции 3G изложены в следующей лекции. С точки зрения нумерации перспективные сети мобильной связи, соответствующие идеологии 3G, не отличаются от эксплуатируемых ныне систем. Возможно, что различия будут лежать в другой плоскости. При появлении глобальных спутниковых сетей мобильной связи будет вводиться новая, уже рекомендованная МСЭ-Т система нумерации, основанная на плане пятнадцатизначной нумерации, описание которой было дано в пятой лекции.

Иная ситуация будет складываться при переходе к четвертому (4G) и пятому (5G) поколениям систем мобильной связи. Эти поколения основаны на пакетных технологиях и максимально увязаны с идеологией сетей связи следующего поколения – NGN. Весьма вероятно, что для таких систем мобильной связи будет использоваться план нумерации, который отвечает требованиям абонентов NGN. Скорее всего, этот план нумерации будет неким симбиозом принципов, применяемых в телефонии и в сетях обмена данными.

С обсуждения принципов адресации в СПД начинается лекция 25. Хорошо бы к тому моменту, когда читатель доберется до этих лекций, не забыть текущий материал, а также принять во внимание привычный для него (читателя) способ набора номера через меню мобильного телефона. Такой набор не только упрощает процесс установления соединения и радикально снижает ошибки по сравнению с набором всех цифр нажатием клавиш, но и естественным образом «перекидывает мостик» к рассматриваемой в лекции 25 системе адресации в Интернет.



Ключевые слова: код зоны нумерации *ABC*, негеографический код *DEF*, план нумерации, SIM-карта, идентификатор IMEI, код сертификации TAC, код сборки FAC, порядковый номер SNR, идентификатор IMSI, код страны MCC, код сети MNC, номер MSIN, идентификатор NMSI, Операторы «большой тройки», номер MSISDN, номер MSRN, нумерация услуг СПС, код 112.



Контрольные вопросы

1. Поясните функциональное назначение идентификатора IMEI.
2. Каким образом в нумерации представлен производитель сотового телефона?
3. Поясните функциональное назначение идентификатора IMSI.
4. Поясните два определения домашней сети.
5. Какое сетевое устройство присваивает идентификатор TMSI абонентскому терминалу?
6. Как используется номер MSRN при входящем и исходящем вызовах?
7. Опишите Ваше представление о нумерации в перспективных сетях 4G.



Задачи и упражнения

1. Разработайте графическое представление эволюции нумерации (адресации) в сетях связи в зависимости от возможностей абонентского терминала. Расположите на этом графике возможности дискового номеронабирателя, клавиатуры сотового телефона, клавиатуры PAD, речевого набора, персонального компьютера. Обоснуйте предлагаемую последовательность.
2. Разработайте свой алгоритм борьбы с хищениями мобильных телефонов с использованием возможностей нумерации СПС. Докажите техническую реализуемость этого алгоритма. Сделайте оценку эксплуатационных расходов.



Литература к лекции 15

- 15.1. Мардер Н.С. Нумерация в сетях электросвязи общего пользования Российской Федерации. – М.: ИРИАС, 2004. – 232 с.

Лекция 16

Технологии и услуги сетей UMTS

ЗАКОН ПРОФЕССОРА ТАРАНТОГИ: Никто ничего не читает; если читает, ничего не понимает, если понимает, немедленно забывает.
Станислав Лем

16.1. Предпосылки перехода к 3G

В соответствии с приведенном в качестве эпиграфа законом профессора Тарантоги, стремительный рост потребности в услугах передачи данных оказался внезапным ударом для СПС. Уже несколько лет назад для этого существовали очевидные предпосылки, но к резкому росту спроса на IP-трафик системы 2G, включая и GSM, оказались не готовы. Пока основными наиболее востребованными мобильными приложениями являются передача речи и служба коротких сообщений SMS, но третье поколение 3G уже привлекло и продолжает привлекать большое внимание именно как средство, дающее возможность представить на рынке мобильной связи высокоскоростную передачу данных. Уже в начале технологии 3G обеспечивали для мобильных приложений высокоскоростную передачу данных на скорости 144 кбит/с при поездке на автомобиле, 384 кбит/с при скорости пешехода, а также 2 Мбит/с в помещении.

Эволюция перехода к таким технологиям на рассмотренных в этой книге этапах 1G, 2G и 2.5G отображена на рис. 16.1. Положенные в основу решения 3G, показанные на рис. 16.1, разрабатывались разными группами стандартизации и относятся к разным технологиям: в их число входят как решения с TDMA, так и решения с CDMA, а также решения *FDD (Frequency Division Duplex)* и решения

TDD (*Time Division Duplex*). В работе Европейского института ETSI преобладало решение W-CDMA с использованием FDD. В Японии тоже было предложено решение W-CDMA как с опцией TDD, так и с опцией FDD. В Южной Корее были предложены решения CDMA двух разных типов: одно – аналогичное европейскому и японскому предложениям, а другое – аналогичное предложению CDMA для Северной Америки, то есть CDMA2000, представляющее собой развитие IS-95. Таким образом, ведущие группы специалистов работали над весьма схожими технологиями, и стала совершенно очевидной целесообразность объединения ресурсов. Это и привело к созданию двух упоминавшихся в лекции 11 отдельных организаций – 3GPP, работающей над UMTS, и 3GPP-2, которая работает над CDMA2000. По очевидным причинам в этой лекции основное внимание уделено европейскому направлению развития – технологии UMTS.

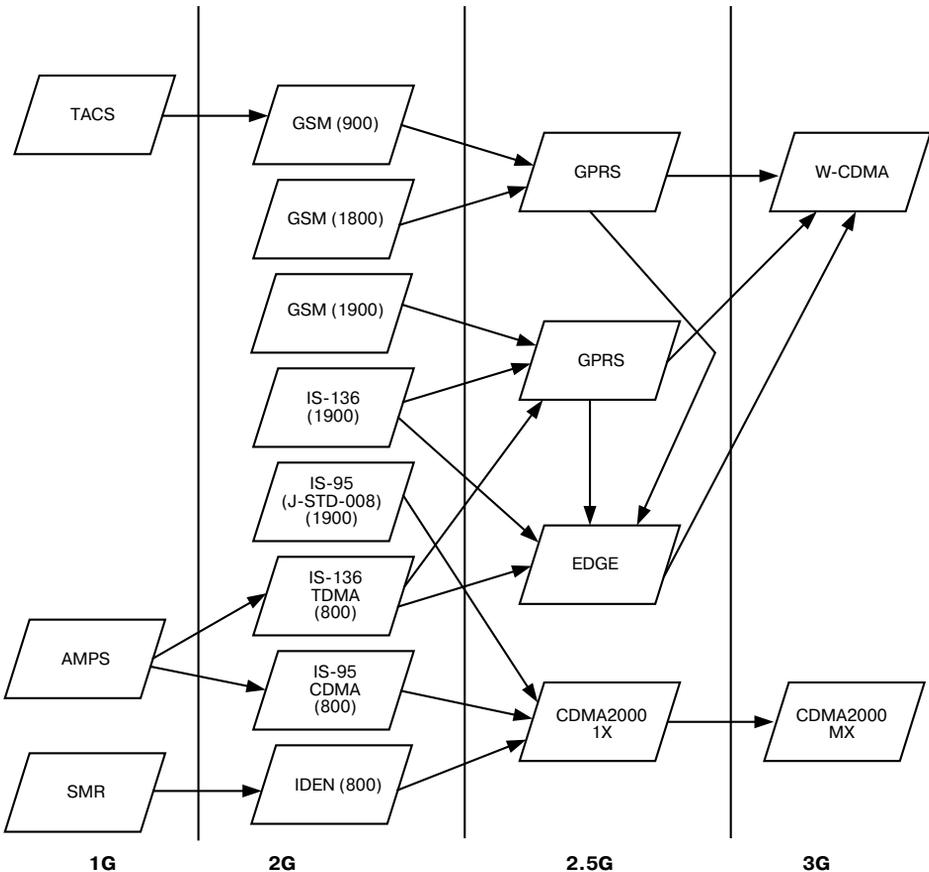


Рис. 16.1. Пути эволюции к UMTS

Технология UMTS сегодня внедряется российскими Операторами «большой тройки». На проведенных в 2008 году тендерах на поставку оборудования UMTS возможность установки оборудования в сетях ОАО «Мегафон» получили компании Nokia-Siemens и Huawei, в сетях ОАО «ВымпелКом» – Ericsson и Huawei, а в сети ОАО «МТС» – Ericsson и Nokia-Siemens.

16.2. Сети UMTS

Система UMTS в значительной степени представляет собой развитие рассмотренной на лекции 13 системы GSM для поддержки функций третьего поколения 3G. Здесь, в лекции 16, мы более подробно рассмотрим UMTS и, как принято в этой книге, сосредоточим внимание не столько на радиоинтерфейсах, сколько на сетевой архитектуре. Тем не менее, необходимо упомянуть, что сеть радиодоступа *RAN (Radio Access Network)* здесь существенно отличается от рассмотренных в других лекциях технологий GSM, GPRS и *EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution)*.

Радиодоступ для UMTS называют *UTRA (Universal Terrestrial Radio Access)*. Эта технология на базе W-CDMA включает в себя режимы как FDD, так и TDD. Поэтому сеть RAN для UMTS называют *UTRAN*. Что же касается базовой сети, то в силу широкого распространения систем GSM было признано целесообразным строить базовую сеть UMTS как развитие базовой сети GSM. Поэтому первоначальный вариант UMTS (3GPP Release 1999) фактически использует такую же архитектуру базовой сети, какая была рассмотрена выше для GSM, хотя и с некоторыми расширениями. Более того, базовая сеть нужна для поддержки сетей радиодоступа как UMTS, так и GSM (то есть, UTRAN и BSS GSM). К тому же, не прекратилось и развитие BSS GSM: для нее разработано такое расширение, как EDGE.

С учетом продолжения эволюции GSM и близости требований GSM и UMTS поддержка спецификаций GSM осуществляется усилиями партнерства 3GPP, которое теперь вместо ETSI отвечает как за спецификации GSM, так и за спецификации UMTS. Первоначально 3GPP продолжало тактику ETSI с ежегодными релизами спецификаций GSM (релиз 1996, релиз 1997, релиз 1998), поэтому первый релиз спецификаций, подготовленный 3GPP, называется релиз 1999. В состав этого релиза входили не только новые спецификации для поддержки доступа UTRAN, но также и расширенные версии существующих спецификаций GSM (в частности, для поддержки EDGE), ставшие предметом коррекций, поскольку во время тестирования и внедрения оборудования выявились ошибки и отсутствие совместимости.

Следующий релиз спецификаций 3GPP сначала был назван релизом 2000 (3GPP Rel'00) и включал в себя важные изменения в базовой сети. Однако эти изменения оказались настолько значительными, что их нельзя было выполнить все за один шаг, и релиз 3GPP Rel'00 разделили на два релиза: 3GPP Rel'4 и 3GPP Rel'5, прекратив тем самым традицию годовых релизов.

Спецификации релиза 4 определили изменения в базовой сети UMTS с коммутацией каналов и к настоящему времени «заморожены» (что означает сведение изменений в спецификациях лишь к исправлению ошибок или несоответствий, а новые функциональные возможности больше не добавляются). В релизе 4 введены понятия медиашлюза MGW, сервера MSC и шлюза сигнализации SGW, что позволило логически разделять пользовательские данные и информацию сигнализации в центре коммутации подвижной связи MSC. Там же осуществлены усовершенствования UTRAN, которые обеспечили поддержку высоких скоростей передачи для подвижных пользователей.

В релизе 5 предусмотрен переход к пакетной сети, введена новая модель вызова, домашний регистр HLR заменяется/дополняется сервером *HSS абонентов домашней сети*, введены усовершенствования UTRAN, обеспечивающие эффективные услуги мультимедиа на базе IP в UMTS, усовершенствуются услуги определения местонахождения LCS. В релизе 5 появляется также чрезвычайно важная концепция IP-мультимедиа подсистемы IMS, рассматриваемой подробнее в заключительной лекции 20 части 2. Но сначала рассмотрим трафик к услугам UMTS, являющийся основой для всех случаев модернизации сетей связи.

16.3. Трафик в UMTS

Спецификации UMTS определяют четыре класса трафика сети UMTS.

Речевой трафик характеризуется низкой допустимой задержкой и низким джиттером. Для речевого трафика обычно не требуется очень высокая скорость передачи данных, но скорости передачи в обоих направлениях должны быть одинаковы. Видеоконференции, которые включают в себя обслуживание речевого трафика, предъявляют аналогичные передаче речи требования к задержке, но более чувствительны к ошибкам и обычно требуют более высокой скорости передачи данных.

Трафик *интерактивных услуг* составляют транзакции типа вопрос/ответ; он характеризуется высокими требованиями к вероятности ошибок, но менее чувствителен к задержкам, чем речевой трафик. Джиттер не создает больших помех для интерактивных услуг при условии, что общая задержка не становится чрезмерной.

Потоковый трафик относится к однонаправленным услугам, использующим разные скорости передачи, и чувствителен к ошибкам в большей степени, чем к задержкам и джиттеру. Последнее связано с тем, что потоковые данные, как правило, записываются в буфер и только затем воспроизводятся пользователю. Типичными примерами трафика этого вида являются потоковое аудио и потоковое видео.

Фоновый трафик характеризуется невысокими требованиями к задержке. Речь идет, например, о трафике электронной почты или SMS.

16.4. Архитектура 3GPP релиз 99

В основу идеологии 3G заложено разделение методов доступа, транспортных технологий, технологий услуг (контроля соединений) и пользовательских приложений. Первый шаг на этом пути – релиз 99 – наиболее близок предшествующей ему сети GSM. Структура сети 3G в этом первом комплекте спецификаций 3GPP для UMTS показана на рис. 16.2.

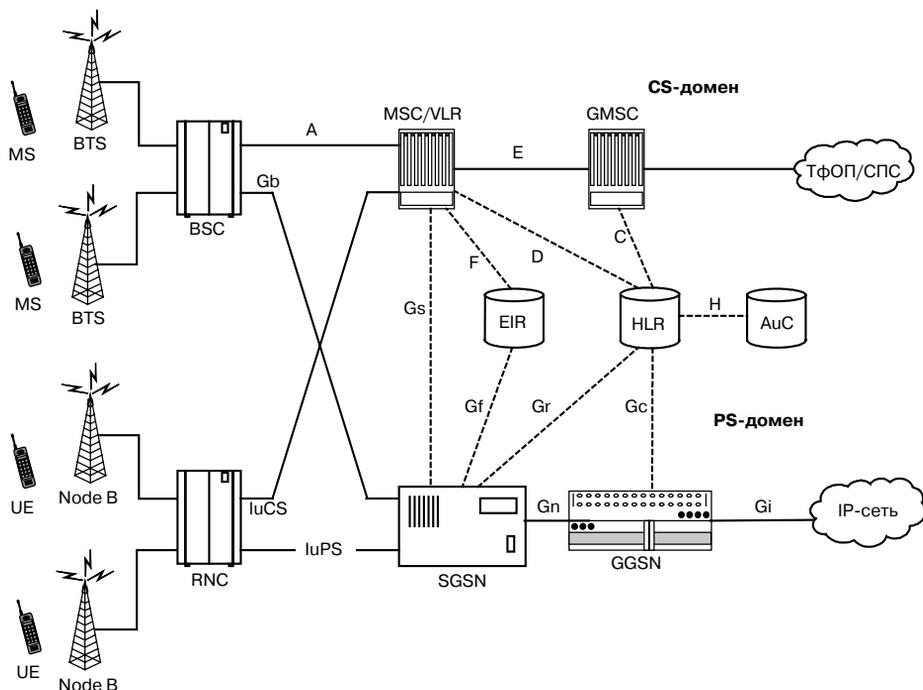


Рис. 16.2. Сетевая архитектура согласно 3GPP Rel'99

Релиз 99 решал главную проблему UMTS – введение нового метода радиодоступа W-CDMA и сохранение преемственности с сетью GSM – «в лоб»: архитектура Rel'99 упрощенно представляется именно как мобильная сеть на принципах GSM, содержащая две разные сети доступа – для трафика с коммутацией каналов и для трафика с коммутацией пакетов.

В отличие от изучавшейся в лекции 13 сети GSM мобильный терминал пользователя называется в UMTS не мобильной станцией MS, а оборудованием пользователя *UE (User Equipment)*, но, как и в сети GSM, состоит из мобильного абонентского устройства *ME (Mobile Equipment)* и модуля идентификации *USIM (UMTS Subscriber Identity Module)* – чипа, в котором содержится определенная информация об абоненте плюс ключ защиты, аналогичные содержанию SIM-карты в системе GSM.

Открытые интерфейсы UMTS включают в себя радиоинтерфейс *Uu* между оборудованием пользователя UE и сетью UMTS, физически реализуемый радиоканалом технологии W-CDMA. Для взаимодействия с базовой сетью сеть радиодоступа GSM использует интерфейс *A*, а сеть радиодоступа UTRAN – интерфейс *Iu*.

В спецификациях 3GPP базовая станция UMTS первоначально называлась *узлом B (Node B)*, и это временное наименование сохранилось во всех спецификациях. Каждый Node B подсоединен к одному контроллеру *RNC (Radio Network Controller)*. Контроллер RNC управляет радиоресурсами подсоединенных к нему узлов B (базовых станций) и является аналогом контроллера BSC в сети GSM. Интерфейс между Node B и RNC является интерфейсом *Iub*. В отличие от аналогичного интерфейса *Abis* в сети GSM интерфейс *Iub* полностью стандартизован, открыт и обеспечивает совместимость базовых станций и RNC разных производителей.

UTRAN подсоединена к базовой сети через интерфейс *Iu*. Этот интерфейс имеет два разных компонента. Соединение от UTRAN к подсистеме с коммутацией каналов базовой сети производится через интерфейс *Iu-CS*, который подсоединяет RNC к соответствующему узлу коммутации каналов MSC/VLR. Соединение от UTRAN к подсистеме с коммутацией пакетов базовой сети, т.е. от RNC к SGSN, проходит через интерфейс *Iu-PS*.

Все интерфейсы UTRAN по спецификации 3GPP релиз 99 ориентированы на технологию *ATM (Asynchronous Transfer Mode)*, упоминаемую в части 3 книги и считавшуюся перспективной во времена разработки релиза 99. В остальном, по возможности, сохраняется архитектура базовой сети GSM/GPRS. Это сделано преднамеренно, чтобы новая технология радиодоступа могла поддерживаться уже установленной, апробированной, надежной технологией базовой сети. Предусматривается возможность обновления существующей

базовой сети для поддержки UTRAN, чтобы один MSC мог соединяться как с UTRAN RNC, так и с GSM BSC. Фактически, спецификации UMTS включают в себя поддержку жесткого хэндовера от UMTS к GSM и наоборот. Это важное требование, поскольку широкое распространение зон охвата UMTS потребует времени, и пока в зонах охвата UMTS остаются пробелы, желательно, чтобы абонент UMTS получал обслуживание сети GSM с гораздо большей зоной охвата. Предусматривается также возможность поддержки узлом SGSN интерфейсов для взаимодействия с контроллерами базовых станций двух стандартов – Iu PS к RNC и Gb к BSC.

16.5. Архитектура 3GPP релиз 4

На рис. 16.3 показана архитектура базовой сети для спецификации 3GPP Rel'4. Основное различие между архитектурой Rel'99 и архитектурой Rel'4 состоит в том, что базовая сеть становится распределенной сетью. Вместо того чтобы иметь традиционные MSC с коммутацией каналов, как это было в предыдущей сетевой архитектуре, вводится архитектура распределенных коммутаторов.

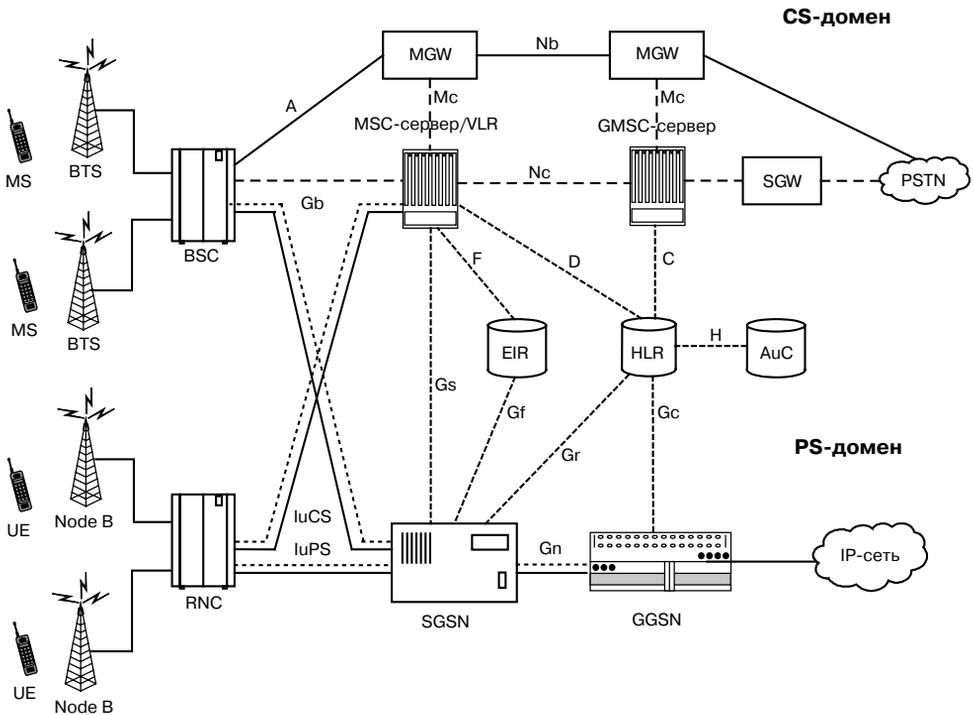


Рис. 16.3. Распределенная сетевая архитектура согласно 3GPP Rel'4

Фактически MSC подразделяется на *сервер MSC*, который содержит все управление мобильностью и логику обслуживания вызовов, содержащиеся в традиционном MSC, но без коммутационной матрицы, и *медиашлюз MGW*, которым управляет сервер MSC и который может находиться на удалении от MSC. Обмен сигналами управления для вызовов происходит между RNC и сервером MSC, а разговорный тракт соединяет RNC и MGW. Обычно MGW принимает вызовы из RNC и маршрутизирует эти вызовы к пунктам назначения через пакетную опорную сеть. Опорная пакетная сеть использует технологию ATM или протокол *RTP (Real-Time Transport Protocol)* поверх IP, который рассматривается в лекции 26 третьей части. Как видно на рис. 16.3, трафик пакетных данных проходит из RNC к SGSN и через GGSN выходит в опорную IP-сеть.

Для взаимодействия сервера MSC с сетями с коммутацией каналов (сеть подвижной радиосвязи с коммутацией каналов или фиксированная телефонная сеть с коммутацией каналов) используется *шлюз сигнализации SGW (Signalling Gateway)*. На дальнем конце, где нужно будет передавать вызовы в другую сеть, например, в ТФОП, работает медиашлюз MGW, который под управлением сервера шлюзового *GMSC (Gateway MSC server)* будет преобразовывать пакетизированную речевую информацию в стандартную форму ИКМ. Протоколом управления взаимодействием между сервером MSC или сервером GMSC и MGW является *протокол MEGACO/H.248*, рассматриваемый в лекциях части 3.

16.6. Архитектура All-IP по 3GPP релиз 5

Следующий шаг в эволюции UMTS – это внедрение мультисервисной архитектуры сети, радикально изменяющей базовую модель вызова от мобильного терминала пользователя до конечного пункта назначения в направлении конвергенции речи и данных. Хорошо нам знакомый по лекции 13 о GSM домашний регистр HLR имеет в релизе 5 свой аналог в виде *HSS (Home Subscriber Server)*. При общей функциональной эквивалентности имеются важные различия между HLR и HSS. В HSS содержатся абонентские данные IMS-абонентов. HLR/HSS может работать по протоколу стека OKC7 или через шлюз сигнализации SGW (*SS7 gateway*), поддерживающий на одной стороне стандартную сигнализацию OKC7, а на другой стороне – транспортировку сообщений OKC7 через IP-сеть по протоколам группы Sigtran. Важное отличие релиза 5 от предыдущих – отсутствие отдельных интерфейсов для речи и для данных. Единый интерфейс Iu обслуживает все виды медиа, в базовой сети этот интерфейс подключен к SGSN, а отдельный транспортный шлюз отсутствует. К тому же, в радиоинтерфейсе Rel'5 появляется более скоростной (до 14 Мбит/с) режим передачи пакетированных данных *HSPA (High Speed Packet Access)*.

Принципиальное отличие релиза 5 – появление новых сетевых элементов: Call State Control Function (CSCF), Multimedia Resource Function (MRF), Media Gateway Control Function (MGCF), Transport Signaling Gateway (T-SGW) и Roaming Signaling Gateway (R-SGW), которые мы обсудим в лекции 20.

Транспортный шлюз MGW работает под управлением MGCF по протоколу MEGACO/H.248, как и в релизе 4. Для обмена информацией MGCF с CSCF выбран протокол SIP. Шлюз T-SGW поддерживает протоколы Sigtran и обеспечивает взаимодействие сигнализации OKC7 с ТфОП, а шлюз R-SGW обеспечивает взаимодействие сигнализации с существующими мобильными сетями, также использующими OKC7. Узлы SGSN и GGSN являются расширенными версиями тех же узлов, используемых в GPRS и в UMTS релизов 99 и 4, но теперь эти узлы, в дополнение к услугам передачи данных, поддерживают речевые услуги, которые ранее формировались в режиме коммутации каналов. Еще одним нововведением релиза 5 является расширение возможностей UE, превращающих его фактически в SIP-терминал. Соответственно, CSCF действует аналогично рассматриваемому в части 3 прокси-серверу SIP-сети и управляет установлением, обслуживанием и прекращением мультимедийных сеансов к UE и от него. Домен IP-Multimedia (IM) позволяет пересылать через сеть IP как речь, так и данные во всем сквозном соединении от UE до UE с использованием для целей транспортировки услуги домена PS.

16.7. Развитие UMTS в Rel'6, Rel'7 и Rel'8

Работы 3GPP по релизу 6 сосредоточены, в первую очередь, на дальнейшем развитии IP-мультимедиа подсистемы IMS, к чему мы вернемся в лекции 20, а также на повышении пропускной способности системы UMTS, на развитии сервиса «точка-группа точек» *MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service* – вещательные/многоадресные мультимедийные услуги), на интеграции UMTS и беспроводных локальных сетей.

В спецификациях Rel'7 предусматривается технология *MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)* с многоканальными входами/выходами для дальнейшего увеличения эффективности использования радиоспектра. В этом релизе определена *платформа MMTel (Multimedia Telephony Service)* как единая конвергентная архитектура с мультимедийной связью, использующая IMS для мобильного и фиксированного фрагментов сети.

В спецификациях Rel'7 и Rel'8 развиваются механизмы *VCC (Virtual Call Continuity)*, обеспечивающие непрерывность мультимедийных сессий при использовании разных сетей доступа (WLAN, 3G, LTE), о чем мы тоже еще поговорим в лекции 20.



Ключевые слова: архитектура UMTS, классы трафика к услугам UMTS, мобильные приложения, 3GPP, модуль идентификации USIM, сервер HSS абонентов домашней сети, сигнальный шлюз SS7 GW, трафик речевых услуг, IP-мультимедиа подсистема IMS, потоковый трафик, сервис «точка-группа точек», IMT-2000, технология MIMO, платформа MMTeI, режим передачи пакетизированных данных HSPA.



Контрольные вопросы

1. Перечислите интерфейсы HSS и поясните их назначение.
2. Каковы ключевые различия между сотовыми системами 3G и 2G?
3. Сформулируйте принципы радиодоступа для UMTS.
4. Какую скорость передачи информации обеспечивает UMTS для абонента, который находится дома, для абонента, который прогуливается по парку, и для абонента, который едет в автомобиле?



Задачи и упражнения

1. Описать логическую модель HSS на рис. 16.5. Указать основные функции, сопряжение и интерфейсы с базовой сетью.

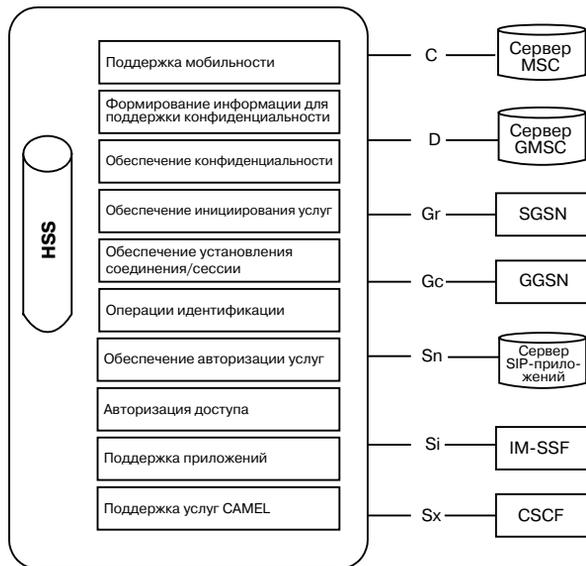


Рис. 16.4. Функции HSS и интерфейсы базовой сети



Литература к лекции 16

- 16.1. Волков А.Н., Рыжков А.Е., Сиверс М.А. UMTS. Стандарт сотовой связи третьего поколения. – СПб.: Издательство «Линк», 2008. – 224 с.

Лекция 17

Услуги, поддерживаемые СПС

*Об услуге пусть рассказывает не оказавший, а получивший ее.
Сенека*

17.1. Услуги сетей 3G

Приведенный в эпиграфе древний принцип реализуется на наших глазах постоянно конкурирующими между собой Операторами мобильной связи, каждый из которых продвигает новые оригинальные услуги в ожесточенной борьбе за каждого абонента. Этот же указанный в эпиграфе приоритет оценки привлекательности услуг их потребителями явился главным препятствием продвижения поколения 3G, которому целиком посвящена предыдущая лекция 16. Именно недооценка потенциальными потребителями предлагаемых им услуг 3G определила неудачу с покупками лицензий 3G в Европе. И все же авторы с оптимизмом смотрят в будущее и поэтому эту лекцию они начинают именно с предоставляемых сетями 3G услуг высококачественной передачи речи, скоростного доступа в Интернет, обмена мультимедийными сообщениями MMS, передачи видео, музыки, фильмов, ТВ-программ, видеоконференций, оплаты покупок с использованием мобильного телефона, телепрезентаций, групповых электронных игр и целого ряда других.

Все эти услуги 3G могут быть классифицированы по следующим категориям:

- персональная связь,
- развлечения,

- мобильные транзакции,
- информационные услуги,
- бизнес-услуги.

Ниже мы рассмотрим различные приложения для названных категорий. Следует обратить внимание на то, что все эти приложения соответствуют трафику того или иного типа: разговорному, потоковому, фоновому или интерактивному, что, в свою очередь, соотносится с классами качества обслуживания QoS, рассматриваемыми в следующей лекции.

Персональная связь, то есть удовлетворение потребности общения пользователя с другими людьми при помощи приложений двух типов: «точка – точка» и «точка – группа точек». Это могут быть такие приложения, как телефония, видеотелефония, короткие сообщения SMS, мультимедийные сообщения MMS и мобильная электронная почта. Приложением, которое, как ожидается, будет стимулировать обычных пользователей перейти от сетей второго поколения к 3G, может оказаться видеотелефония.

Мобильные развлечения – категория услуг, которые, по всей вероятности, будут находить все больший спрос пользователей и обеспечивать доход Операторов. Услуги этой категории могут относиться к таким видам:

- игры (фоновый трафик или интерактивный трафик при онлайн-играх), для чего создаются Web-браузеры с поддержкой протокола Java и модернизируются пользовательские терминалы PDA;
- потоковое аудио/видео по запросу (поточковый трафик). Пользователь может заказать передачу музыки, радиопрограммы или, к примеру, наиболее ярких моментов футбольного матча. Контент начинает «проигрываться» в процессе загрузки. Эта услуга, в зависимости от происхождения носителя информации, лицензионных платежей и других факторов, может быть платной или бесплатной;
- видео/аудио фонового класса по запросу (фоновый трафик). Услуги этого вида включают в себя «скачивание» аудио- или видеофайлов, которые можно сохранить в абонентском терминале и проиграть позже;
- электронные книги (фоновый трафик), где формат книг преобразован для чтения на маленьких дисплеях, и др.

Мобильные справки, к которым относятся финансовые известия, спорт, погода, информация об автомобильных пробках, разные справочные услуги, в том числе, и удовлетворяющие запросы пользователей на основе сведений об их местонахождении. К примеру, абонент, едущий на автомобиле по незнакомому району, может запросить информацию о ближайших бензозаправочных станциях.

В этом случае мобильная справочная служба предоставит ему адреса и карты, показывающие расположение ближайших заправок станций. Получение такой информации может производиться через Web-браузер (интерактивный класс), в этом случае пользователи платят только за доступ к сети. Можно реализовать получение этой информации и как услугу, на которую пользователи могут подписаться (фондовый класс).

Услуги на базе определения местонахождения пользователя существенно шире примера с бензозаправочными станциями, приведенного выше. Прежде всего, на базе определения географического положения пользователя может быть организовано предоставление большого объема рекламы. Операторы, зная местонахождение пользователя и его персональные данные, могут получать значительный доход от адресной рекламы. Информация, предлагаемая в зависимости от местонахождения пользователя, может распространяться по его подписке или в качестве рекламных объявлений, которые оплачиваются рекламодателями.

Мобильная коммерция, включающая в себя мобильные банковские, платежные финансовые операции, операции с наличными, мобильные покупки в торговых автоматах, магазинах, билетных кассах. К мобильной коммерции относятся любые проводимые по мобильной сети транзакции, имеющие денежное выражение, в связи с чем мобильные терминалы становятся так называемыми электронными кошельками. Пользователь может, к примеру, приобретать товары, стоимость которых будет вычитаться из его электронного кошелька (так называемые *микроплатежи*), или, для дорогостоящих покупок, мобильный терминал абонента может использоваться для инициирования транзакций по кредитной карте с авторизацией PIN-кода, для чего у мобильного Оператора должны быть данные о кредитной карте этого абонента.

Оставим читателю возможность продолжать этот перечень дальше настолько, насколько это позволяет его фантазия, и напомним, что новые услуги СПС и алгоритмы их реализации являются, как правило, коммерческими тайнами Операторов мобильной связи. То же, что задумано как универсальная для всех Операторов мобильной и фиксированной связи архитектура предоставления услуг, и есть уже упоминавшаяся *IP Multimedia Subsystem (IMS)* для услуг 3G. При этом задумана IMS настолько интересно и перспективно, что ей посвящена значительное место в лекции 20, завершающей часть 2.

В этой же лекции мы обсудим ниже целый набор чрезвычайно полезных и востребованных уже сегодня услуг, придуманных Операторами мобильной связи на тернистом пути от 2G к 3G и объединенных условным названием 2.5G.

17.2. Услуги сетей 2.5G и технология EDGE

К услугам 2.5G можно отнести доступ в Интернет через GPRS/WAP, а также SMS и MMS, услуги загрузки популярных логотипов и мелодий звонков, «квазиинтерактивные» услуги, построенные на SMS: знакомства, запрос справочной информации и др.

Прежде всего, заметим, что термин 2.5G весьма условен, скептики и энтузиасты тех или иных упомянутых здесь услуг и технологий относят их кто к 2.1G, кто к 2.75G или даже к 2.9G. Первой такой технологией стала система с повышением скорости передачи данных от 9,6 кбит/с, предоставляемых GSM, до 57,6 кбит/с с применением технологии высокоскоростной передачи данных в режиме с коммутацией каналов HSCSD.

Следующая, более эффективная технология называется EDGE, что сначала расшифровывалось как *Enhanced Data rates for GSM Evolution*, а затем, в связи с ее распространением за пределы сетей GSM, – как *Enhanced Data for Global Evolution*. Эта система представляет собой обычную GSM с увеличенным числом битов на 1 Гц, то есть позволяющая передать больше битов в секунду в том же канале 200 кГц и TDMA с восемью временными каналами, обсуждавшийся в лекции 13. Это достигается, в первую очередь, заменой схемы гауссовой модуляции с минимальным сдвигом GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*), применяемой в радиоинтерфейсе GSM, 8-позиционной фазовой модуляцией 8-PSK (*8 Phase Shift Keying*).

В результате, EDGE теоретически может поддерживать скорости до 384 кбит/с, что в три раза выше, чем в рассматриваемой в следующем разделе GPRS, хотя и не достигает возможностей 3G, которые обсуждались в предыдущей лекции. Тем не менее, вопрос о широкомасштабном внедрении EDGE является открытым, так как уже в сети 2.5G развернута несколько раньше пакетная сеть GPRS, позволяющая на базе существующей сети GSM обмениваться IP-пакетами по речевым радиоканалам.

Ниже мы рассмотрим работу GPRS несколько подробнее, но сразу предупредим, что поскольку система GPRS работает лишь как надстройка над существующей системой GSM (или D-AMPS, например), ее следует рассматривать как временное решение, т.е. как промежуточный вариант до развертывания обсуждавшейся на предыдущей лекции 3G, при которой надобность в GPRS постепенно исчезнет.

17.3. Пакетная сеть GPRS

Услуги передачи данных в сетях GSM фазы 2G базировались на одиночных соединениях с коммутацией каналов со скоростью передачи 9,6 кбит/с. Такая скорость передачи данных сегодня, при наличии Интернет, представляется удручающе низкой и ни в какой мере не отвечает современным требованиям. По этой причине начались работы в области стандартизации с целью повысить функциональные возможности услуг передачи данных в сетях стандарта GSM. Результатом этой стандартизации стала спецификация *пакетной радиослужбы GPRS (General Packet Radio Service)*.

Сеть GPRS (рис. 17.1) представляет собой сеть с коммутацией пакетов (домен PS), наложенную на существующую сеть GSM, и вводит два дополнительных узла, а именно *шлюзовой узел GPRS (Gateway GPRS Support Node – GGSN)* и *обслуживающий узел GPRS (Serving GPRS Support Node – SGSN)*.

Узел SGSN выполняет функции аутентификации, авторизации, контроля доступа, сбора учетных данных о пользовании услугами для последующих расчетов за услуги связи, маршрутизации пакетов и управления мобильностью. Таким образом, SGSN является аналогом MSC/VLR в домене с коммутацией каналов и выполняет эквивалентные функции в домене с коммутацией пакетов. Зона обслуживания SGSN делится на зоны маршрутизации *RA (Routing Areas)*, которые аналогичны зонам местонахождения в домене с коммутацией каналов. Когда мобильный терминал перемещается из одной RA в другую, выполняется обновление зоны маршрутизации, которое аналогично обновлению данных о местонахождении в домене с коммутацией каналов.

Однако есть одно отличие – мобильный терминал может выполнять обновление зоны маршрутизации во время продолжающегося сеанса передачи данных, который в терминах GPRS называется *контекстом PDP (Packet Data Protocol)*. При оказании абоненту услуги передачи речи в домене с коммутацией каналов обновление данных об изменении зоны местонахождения осуществляется только по окончании соединения.

Интерфейс между SGSN и BSC обозначается Gb и использует протокол *BSS GPRS protocol (BSSGP)* для передачи информации сигнализации и управления, а также трафика данных пользователя к SGSN или от него. Кроме того, SGSN взаимодействует через интерфейс Gr с регистром HLR по протоколу MAP, расширенному для поддержки GPRS, о чем говорилось в лекции 14. Интерфейс Gr используется SGSN для обеспечения обновлений в HLR информации о местонахождении абонентов GPRS и поиска связанной с GPRS информации об абоненте, который находится в зоне обслуживания SGSN.

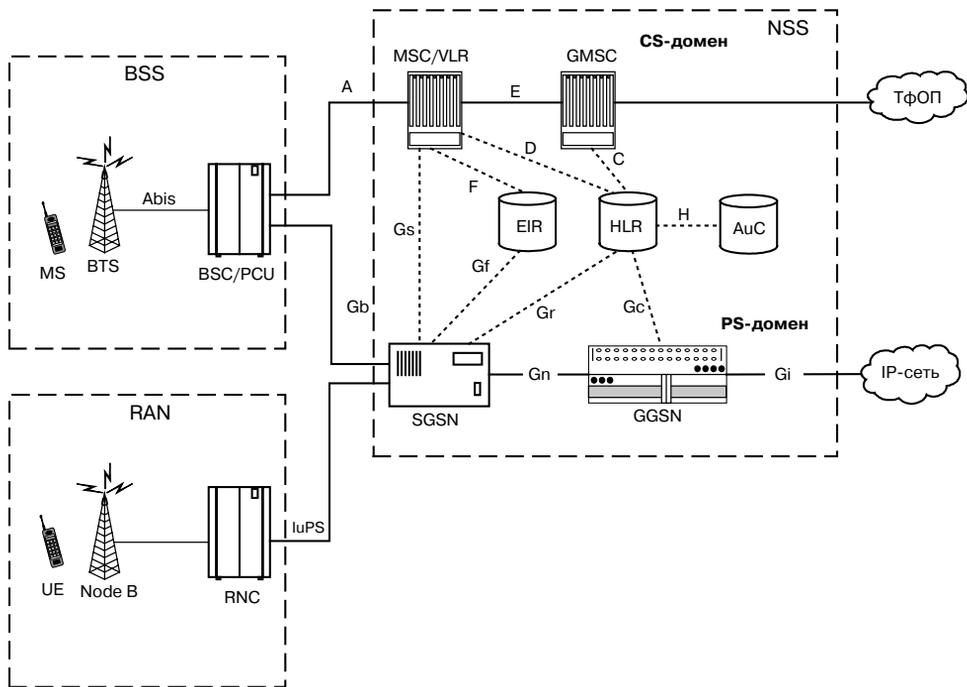


Рис. 17.1. Сеть GPRS

В дополнение к этому SGSN может также взаимодействовать с MSC через интерфейс Gs с использованием протокола BSSAP поверх SCCP стека ОК77 (лекция 4), который представляет собой модификацию подсистемы *Base Station Subsystem Application Part* (BSSAP), используемой между MSC и BSC при передаче речи. Назначение интерфейса Gs – обеспечивать координацию между MSC/VLR и SGSN для тех абонентов, которые поддерживают как услуги с коммутацией каналов, управляемые MSC/VLR (передача речи, например), так и услуги с коммутацией пакетов, управляемые SGSN.

SGSN взаимодействует с центром SMSC через интерфейс Gd (на рис. 17.1. не показан), что позволяет абонентам GPRS передавать и принимать короткие сообщения по сети GPRS. Интерфейс Gd использует также протокол MAP из лекции 14.

Каждый SGSN может взаимодействовать с одним или несколькими узлами GGSN через интерфейсы Gn. Эти интерфейсы используют протокол туннелирования GTP (*GPRS Tunneling Protocol*) на базе IP для передачи сигналов и данных пользователя. Узел SGSN может взаимодействовать с другими SGSN сети.

Интерфейс взаимодействия между SGSN также называется интерфейсом Gp и тоже использует GTP. Основная функция этого интерфейса – обеспечивать туннелирование пакетов от предыдущего SGSN к новому SGSN, когда имеет место обновление зоны маршрутизации во время продолжающегося контекста PDP. Отметим, что такая пересылка пакетов от одного SGSN к другому происходит очень недолго – только на время, пока новый SGSN и GGSN устанавливают контекст PDP непосредственно между собой, после чего предыдущий SGSN не участвует в соединении. Этот процесс отличается от хэндовера для вызова с коммутацией каналов, где первый MSC обслуживает соединение до его окончания.

Узел GGSN представляет собой шлюз, обеспечивающий взаимодействие с IP-сетью, и в большинстве случаев входит в инфраструктуру сети Интернет-провайдера. Для взаимодействия GGSN с регистром HLR можно использовать интерфейс Gc. Этот интерфейс также применяет рассмотренный в лекции 14 протокол MAP.

Данный интерфейс обычно используют, когда GGSN должен определять SGSN, обслуживающий абонента, подобно тому, как шлюзовой MSC (GMSC) запрашивает в HLR информацию маршрутизации для речевого вызова к мобильному терминалу. Однако между сценариями имеется одно различие, а именно, сеанс передачи данных обычно устанавливает мобильный терминал, а не внешняя сеть, и GGSN знает, какой SGSN обслуживает этот мобильный терминал, поскольку тракт от мобильного терминала к GGSN проходит через обслуживающий SGSN.

Узел GGSN запрашивает у HLR информацию о местонахождении мобильного терминала лишь в тех случаях, когда сеанс инициирует внешняя сеть передачи данных. Это – опциональная возможность, и Оператор сети может выбрать отмену ее поддержки, что и происходит во многих сетях, где такая возможность не реализуется.

17.4. Высокоскоростная передача данных HSCSD

Основное различие между GPRS и услугой высокоскоростной передачи данных с коммутацией каналов *HSCSD (High-Speed Circuit Switch Data)* состоит в том, что HSCSD использует существующую сеть с коммутацией каналов, а для увеличения скорости передачи данных использует несколько временных каналов одновременно. Если каждый канал системы с коммутацией каналов может передавать данные со скоростью 9,6 кбит/с, то тогда шесть агрегированных каналов могут обеспечить ту же скорость, что и большинство модемов, dial-up для проводных линий, т.е. 56 кбит/с.

17.5. Услуги WAP

Приложение *Wireless Application Protocol (WAP)* предоставляет мобильным абонентам возможность доступа в Интернет и является универсальным открытым стандартом беспроводных телефонов и PDA для доставки контента Интернет и других дополнительных услуг. Важно отметить, что хотя WAP позволяет пользователю передавать и принимать текст, это приложение и является технологией 2.5G для высокоскоростной беспроводной доставки данных.

17.6. Услуги SMS

Вряд ли среди читателей найдется кто-либо, не знакомый с понятием *услуга коротких сообщений SMS (Short Message Service)*. По популярности она по праву может первой претендовать на статус *killer application* из всего, предоставляемого Операторами сетей 2G. В конце лекции 13 уже обсуждалась сетевая архитектура SMS. Заметим, что источником короткого сообщения могут быть как мобильный терминал, так и компьютер, соединяющийся с центром обслуживания SMS через Интернет. Доставку сообщений от SMSC на мобильный терминал выполняет *SMS-GMSC (Short Message Service – Gateway Mobile Switching Center)*, в то время как доставку сообщения от мобильных терминалов к SMSC обслуживает блок *SMS-IW MSC (Short Message Service – Interworking Mobile Switching Center)*; об этих блоках говорилось в лекции 13.

Более подробно структура кадра SMS-сообщений, отправляемых с мобильного терминала и принимаемых мобильным терминалом, описана в [10]. Здесь же, в развитие рассмотренной в лекции 14 сигнализации СПС, отметим, что продвижение SMS-сообщения, посланного от одного мобильного терминала к другому мобильному терминалу, требует значительного обмена сигнальной информацией в добавление к самому сообщению.

Задачу нарисовать сценарий обмена сигнальными сообщениями при передаче SMS от мобильного терминала А к мобильному терминалу Б, который сначала отключен, а потом включен и готов к приему этого короткого сообщения, оставим читателям в качестве упражнения к этой лекции. А здесь приведем лишь краткое описание такого сценария.

Итак, сообщение SMS формируется мобильным терминалом А и попадает в центр обслуживания SMSC, который проверяет время жизни сообщения, его приоритет, а также добавляет к сообщению отметку времени и информирует функциональный блок SMS-GMSC о том, что сообщение необходимо доставить определенному мобильному терминалу Б. Блок SMS-GMSC запрашивает у HLR адрес

MSC, в зоне обслуживания которого находится в текущий момент требуемый мобильный терминал MS-Б, а получив информацию с адресом MSC, SMS-GMSC с помощью сообщений подсистемы MAP посылает сообщение в этот MSC. В свою очередь, MSC определяет зону местонахождения MS-Б в своем регистре VLR, и SMS-сообщение доставляется абоненту по сигнальному каналу.

Если получатель SMS – мобильный терминал Б – находится вне зоны покрытия сети или выключен, соответствующая информация передается в HLR для установки флага, отмечающего, что для данного абонента существует не доставленное SMS, и в SMSC, где сообщение хранится до тех пор, пока не будет доставлено или пока не сработает таймер, определяющий время хранения SMS.

17.7. Виртуальная домашняя среда VHE

Отметим также сформулированную в спецификациях 3GPP концепцию виртуальной домашней среды *VHE (Virtual Home Environment)*, определяемую как возможность переноса персональной среды абонентских услуг через границы между сетями и характеризующуюся общим механизмом доступа к услугам, средствами создания услуг и их восстановления в случае необходимости. Идея виртуальной домашней среды подразумевает персонализированные услуги, персонализированные данные о пользователе и постоянный набор услуг, независимых от местонахождения абонента в той или иной гостевой сети. Для реализации такой возможности, в частности, создана технология CAMEL.

17.8. CAMEL и протокол CAP

В рамках осуществляемой 3GPP стратегии развития и модернизации GSM в направлении к UMTS добавлены и продолжают добавляться усовершенствования 2.5G.

Двумя наиболее существенными из таких усовершенствований являются рассмотренная выше служба GPRS и *индивидуально заказываемые приложения для расширенной логики сетей подвижной связи CAMEL (Customized Applications for Mobile Networks Enhanced Logic)*. С учетом материала седьмой лекции можно сказать, что CAMEL вносит в сеть GSM идеологию рассмотренной там Интеллектуальной сети, а также упомянутую в предыдущем разделе этой лекции идею виртуальной домашней среды. Внедрение CAMEL делает IN-подобные сетевые услуги прозрачными для пользователей вне зависимости от их местонахождения.

Примером такой IN-подобной услуги в мобильной сети является доступ к речевой почте. Большинство сотовых сетей сейчас

предоставляют доступ к речевому почтовому ящику путем набора специального короткого кода (например, Мегафон использует номер 0525). Когда абонент перемещается по сотовой сети другого Оператора, он не имеет возможности пользоваться этими кодами. Проблему позволяет решить CAMEL, информируя обо всех входящих и исходящих вызовах абонента, подписавшегося на услуги CAMEL, через среду CAMEL-услуг *CSE (CAMEL Service Environment)*. Обеспечивается это с помощью упоминавшегося в лекции 14 прикладного протокола *CAP (CAMEL Application Part)* стека ОКС7. Таким образом, в гостевую сеть, где временно находится абонент, передается информация о подписке на CAMEL-услуги *SCI (CAMEL Subscription Information)*, т.е. сведения о тех услугах CAMEL, на которые имеет подписку этот абонент.

17.9. Услуга Push-to-talk

Услуга *Push-to-talk over Cellular (PoC)* – это эмуляция работы обычной рации на сотовом телефоне, когда абонент создает в своем терминале опцию для группы, тоже имеющей право пользоваться услугой PoC. Чтобы обеспечить полудуплексную радиосвязь с ними, абоненту достаточно нажать кнопку Push. В отличие от обычной конференц-связи, в услуге Push-to-talk речь передается в пакетном режиме, что обходится абоненту дешевле, чем соединение через традиционные сети с коммутацией каналов. К тому же, при push-to-talk известна информация о статусе абонентов в группе: Online, Away, Occupied и т.п. Таким образом, пользующийся этой услугой абонент знает не только всех, кто потенциально может его услышать, но и тех из них, кто в данный момент не готов с ним общаться.

Если сравнить PoC с соизмеримой по стоимости услугой передачи мультимедийных сообщений MMS, то там знать о состоянии других абонентов невозможно. К тому же, обмен мультимедийными сообщениями идет с существенной задержкой по сравнению с Push-to-talk: абонент сначала записывает речевое сообщение, затем передает его одному или нескольким абонентам, получатель, в свою очередь, сначала принимает сообщение целиком и только после этого может его прослушать. В случае же Push-to-talk задержки минимальны, они определяются лишь задержкой в сети передачи данных и в PoC-сервере, предоставляющем эту услугу. Практически сразу после нажатия абонентом кнопки Push его речь начинает передаваться всем получателям.



Ключевые слова: обмен мультимедийными сообщениями MMS, служба коротких сообщений SMS, пакетная сеть GPRS, технология EDGE, высокоскоростная передача данных HSCSD, потоковое аудио/видео, видеоконференции, мобильная коммерция, чат, групповые электронные игры, микроплатежи, услуга Push-to-talk, персональная связь, мобильные развлечения, приложение WAP, виртуальная домашняя среда VHE, услуги на базе определения местонахождения абонента, CAMEL и CAP.



Контрольные вопросы

1. Расскажите о классификации типов трафика к услугам 3G.
2. Какие еще услуги 3G, помимо описанных в 17.1, можно предложить?
3. Оцените перспективы использования мобильных терминалов в качестве электронных кошельков. Какие проблемы могут возникнуть при широком распространении микроплатежей?
4. Опишите интерфейсы GPRS на рис. 17.2.
5. Какие элементы подсистемы коммутации сети GSM участвуют в процессе пакетной передачи данных?
6. Поясните механизм с промежуточным хранением при передаче SMS.
7. Оцените перспективы WAP. Обоснуйте свое мнение.
8. Опишите принципы виртуальной домашней среды. Как эта концепция связана с CAMEL?
9. Какой аналог услуги Push-to-talk широко применяется сегодня. В чем разница между этим аналогом и услугой 3G?



Задачи и упражнения

1. Расположите на шкале от 2,1G до 2,9G описанные в лекции технологии предоставления услуг. Обоснуйте расположение GPRS, EDGE, HSCSD. Сравните максимальные показатели скорости передачи данных этих технологий и технологии 3G.
2. Нарисуйте сценарий обмена сигнальными сообщениями при передаче SMS от мобильного терминала А к мобильному терминалу Б, который сначала отключен, а потом включен и готов к приему этого короткого сообщения.



Литература к лекции 17

- 17.1. Громаков Ю.А., Северин А.В., Шевцов В.А. Технологии определения местоположения в GSM и UMTS. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 144 с.

Лекция 18

Качество обслуживания в СПС

В фантастических романах главное – это было радио. При нем ожидалось счастье человечества. Вот радио есть, а счастья нет.
Илья Ильф

18.1. Основные понятия

Теперь, когда количество проданных российскими Операторами сотовой связи телефонных номеров превысило численность населения страны, мы узнали, что для счастья мало *просто* сотовой связи. Для счастья эта связь, как минимум, должна быть еще и *высококачественной*. Чтобы осознать специфику проблем качества мобильной связи (и с учетом того, что мы узнали в лекции 8 про характеристики качества в ТФОП), читателю хорошо было бы попытаться вспомнить, когда он последний раз снял телефонную трубку стационарного телефона и не услышал сигнал готовности к приему цифр номера. Нет сомнений, что подавляющее большинство не смогут вспомнить такую ситуацию.

В сетях подвижной связи дела обстоят несколько иначе. Разумеется, есть естественные ограничения зоны приема радиосигнала от движущегося абонента СПС и к нему, но проблемы качества обслуживания в мобильной связи этим не ограничиваются. Прежде всего, следует сказать несколько слов об операторском классе и про пресловутые пять девяток в фиксированной телефонной связи. Количественно это связано с одной из старейших норм, существовавших еще в Технических условиях (ТУ) для декадно-шаговых АТС, а оттуда перекочевавшей в ТУ для следующих поколений узлов

коммутации, – 2 часа простоя за 20 лет. Указанный в этом показателе срок 20 лет со времен ДШ АТС сократился с первоначально записанных там 40 лет, но надежность критерии коммутационной техники операторского класса во все времена являлись основой телекоммуникационных сетей общего пользования и составляли все те же «пять девяток», т.е. коэффициент готовности 0,99999, что соответствует предельно допустимым 5,3 минутам простоя в год. Представляется полезным привести следующую табл. 18.1.

Таблица 18.1. Связь между коэффициентом готовности и периодом простоя

Коэффициент готовности	Период простоя
0.9 (одна девятка)	До 36 дней за год
0.99 (две девятки)	До 89 часов за год
0.999 (три девятки)	До 9 часов за год
0.9999 (четыре девятки)	До 53 минут за год
0.99999 (пять девяток)	До 5,3 минут за год

Соблюдение параметров последней строки табл. 18.1 связано с весьма простыми, но не всегда, к сожалению, выполняющимися правилами, состоящими в том, что:

- когда вы набираете номер, соединение устанавливается в соответствии именно с этим номером;
- когда вы завершаете набор номера, телефон на противоположной стороне начинает звонить, а вы слышите сигнал «Контроль посылки вызова» (или, в худшем случае, зуммер «Занято») не позже чем через 2 – 3 секунды после окончания набора;
- в состоявшемся после ответа вызванного абонента разговоре качество речи и, в частности, ее разборчивость соответствуют нормам ITU, без прослушивания эха, без ощутимых задержек и без посторонних шумов.

Разумеется, для перечисленных выше характеристик существуют многочисленные нормы, стандарты, рекомендации, методики расчетов и измерений, а в современных условиях конвергенции услуг и сетей связи – гораздо более многочисленные проблемы определения критериев и оценок, открытые для исследователей. Ниже в этой лекции мы только слегка коснемся этой чрезвычайно интересной проблематики качества обслуживания (QoS) пользователей мобильной телефонной связью.

18.2. Стандартизация качества обслуживания в СПС

В лекции 8 уже рассматривалось определение качества услуг связи QoS, данное в рекомендации ITU-T E.800. Согласно этому

определению под качеством услуг мобильной связи QoS понимается суммарный эффект ряда параметров обслуживания, который определяет степень удовлетворения пользователя предоставленным обслуживанием. За пределами этой книги оставлены административные составляющие системы обеспечения QoS, а основное внимание сосредоточено на определении характеристик качества услуг, установлении для них норм и доведении качества услуг до нормативных показателей.

В дополнение к E.800, вопросы QoS составляют содержание рекомендации E.860 «Структура соглашения об уровне обслуживания», рекомендации ITU-T E.430 «Аспекты оценки качества обслуживания», рекомендации ITU-T Y.1514 «Параметры работы сетей для предоставления услуг связи», рекомендации ITU-T Y.1540 «Параметры качества переноса IP-пакетов», а также рекомендации ITU-T Y.1541 «Нормы сетевых рабочих характеристик для услуг на основе протокола IP», о чем мы поговорим подробнее в лекции 28.

Существенная работа по вопросам QoS ведется в ETSI, и в ее результате появились технические отчеты ETR 003, определяющий общие требования к качеству услуг связи, и ETR 138, определяющий многие показатели QoS для фиксированных сетей телефонной связи (количество жалоб на абонентскую линию за год, доля неуспешных вызовов, время установления соединения, срок выполнения заказа установить телефон, доля таких заказов, выполненных в срок, время устранения неисправностей, доля неисправностей, устраненных в оговоренный срок). Для СПС эти показатели дополнены набором параметров, учитывающих специфику мобильной связи и рассматриваемых далее в этой лекции. Эти показатели учитывают также математическую E-модель расчета качества передаваемой речи, позволяющую принять во внимание субъективные оценки качества. Об этой методике мы еще поговорим в лекции 28.

Разработки, выполненные 3GPP в области QoS, включают в себя 3GPP TS 23.107 – о концепции и архитектуре QoS в сети UMTS, а также 3GPP TS 29.208 – о качестве услуг в сквозном соединении между пользователями сети UMTS.

Для российских сетей подвижной связи разработан руководящий документ «Сети сотовой подвижной связи. Нормы для показателей качества услуг связи и методики проведения их оценочных испытаний» от 1 января 2002 года. Среди оцениваемых согласно этому документу параметров: доля неуспешных вызовов в общем числе вызовов (до 5%), доля сеансов связи, закончившихся разрывом не по инициативе абонента (до 5%), доля вызовов с задержкой сигнала контроля посылки вызова свыше 10 с (до 5%).

18.3. Критерии качества обслуживания в СПС

Рассмотрение качества услуг мобильной связи начнем с показателя качества доступа к СПС, который не зависит от требующейся услуги, будь то телефония, SMS или MMS. Речь идет о *доступности сети NA (Network Accessibility)* из рекомендации E.800, которую в контексте стационарной сети ТФОП мы обсуждали в лекции 8. Для СПС под доступностью сети понимается вероятность того, что пользователю будет предоставлен доступ к услугам мобильной связи при наличии на дисплее его мобильного терминала соответствующего показания индикатора сети. В соответствии с работами вышеупомянутых международных организаций можно назвать следующие критерии оценки качества услуг мобильной связи:

- доступность сети, предполагающая доступ пользователя к домашней или роуминговой сети с количеством неуспешных попыток, не превышающим заданную величину;
- доступность услуги, описывающая возможность пользователя получить доступ к услуге, предоставляемой Оператором или контент-провайдером;
- непрерывность услуги, отражающая завершенность предоставления услуги вплоть до ее прекращения по желанию пользователя, а не из-за сбоя в сети;
- полноценность услуги, характеризующая качество услуги в процессе ее оказания.

18.4. Показатели качества обслуживания в СПС

Показателям качества обслуживания трафика речи в СПС свойственны особенности, которые объясняются двумя основными причинами. Во-первых, СПС, строго говоря, не представляет собой самостоятельную сеть связи. Она, в значительной мере, использует ресурсы фиксированной ТФОП. Во-вторых, мобильность терминала, присущая СПС, требует учитывать ряд аспектов, которые не были существенны для фиксированной ТФОП и не рассматривались специалистами по качеству обслуживания.

На рис. 18.1 приведена модель телекоммуникационной системы, уже обсуждавшаяся во вводной лекции. На рис. 18.1 эта модель адаптирована к изучаемому объекту – сети подвижной связи.

Центры коммутации мобильной связи MSC включаются на зональном уровне и взаимодействуют с местными коммутационными станциями фиксированной телефонной сети и с АМТС фиксированной телефонной сети, включенными на зональном уровне. Для организации междугородной и международной связи используются также транзитные междугородные/международные узлы связи.

Поэтому средства поддержки услуг целесообразно разделить на две группы. Первая группа представляет собой те средства поддержки услуг, которые используются в ТфОП и доступны также абонентам СПС. Ко второй группе относятся те средства поддержки услуг, которые создаются только для обслуживания абонентов СПС.

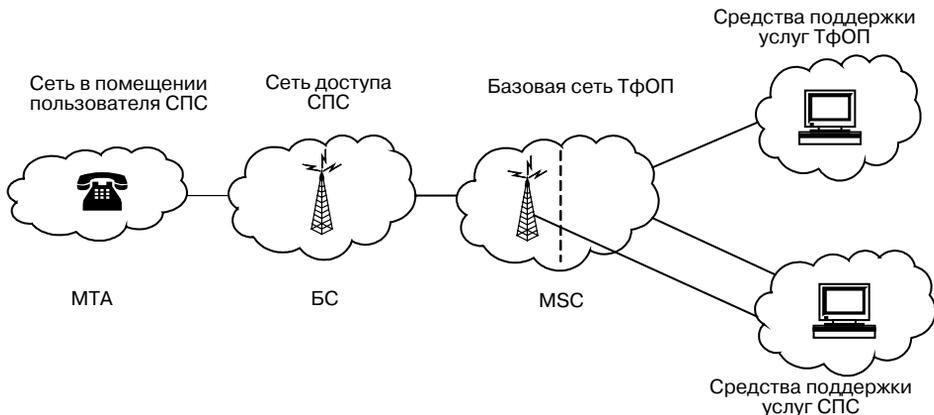


Рис. 18.1. Модель телекоммуникационной системы, адаптированная к СПС

Упомянутые особенности систем связи с подвижными объектами усложняют (иногда – очень заметно) нормирование показателей качества обслуживания и анализ ряда важных характеристик функционирования СПС. Поэтому проблемы, касающиеся качества обслуживания в СПС, сложнее аналогичных задач в ТфОП. Это иллюстрируют табл. 18.2 и 18.3, содержащие примеры показателей качества СПС по изложенным в предыдущем разделе критериям.

Таблица 18.2. Технические показатели качества для телефонии в СПС

Услуга	Критерии качества	Показатель качества
Телефония	Доступ к обслуживанию	Доступность услуги
		Время установления соединения
	Полноценность обслуживания	Качество передачи речи
	Непрерывность обслуживания	Доля успешных вызовов

Таблица 18.3. Технические показатели качества для услуг SMS

Услуга	Критерии качества	Показатели качества
SMS	Доступ к обслуживанию	Доступность SMS-услуги
		Время задержки доступа
	Полноценность обслуживания	Время доставки SMS между пользователями
	Непрерывность обслуживания	Доля успешно выполненных передач SMS в сети

Безусловно, мобильность терминала существенно усложняет обеспечение заданных показателей качества обслуживания. Можно привести внушительный перечень факторов, способных снизить качество связи в СПС по сравнению с ТФОП. В следующем разделе мы остановимся только на трех из них.

18.5. Особенности СПС с точки зрения качества обслуживания

В первую очередь, следует указать на сравнительно новую – для прикладной теории телетрафика – характеристику: интенсивность нагрузки, деленную на единицу площади. В технической литературе такая величина – Y_S обычно измеряется в эрлангах на квадратный километр. Логично предположить, что величина Y_S максимальна в центральной (деловой) части города и убывает по мере приближения к окраинам – так называемым «спальным районам». Действительно, общий тренд такой зависимости, показанный на рис. 18.2, имеет именно такой характер. Аргумент L – расстояние, определяющее удаленность от центральной части города.

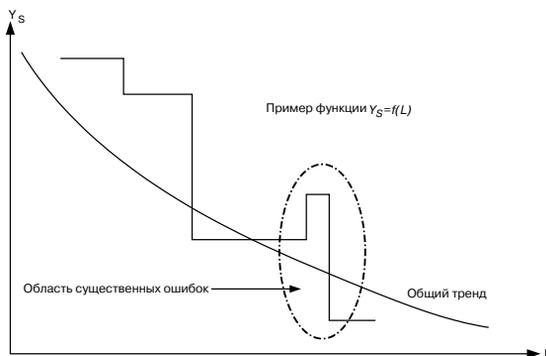


Рис. 18.2. Изменение Y_S по мере удаленности от центра города

Ступенчатой функцией $Y_S=f(L)$ показан пример реальной ситуации в условном городе N . Овал, изображенный штрихпунктирной линией, указывает на одну из областей изменения величины L , для которой свойственны существенные ошибки в определении величины Y_S . Сложность планирования сети мобильной связи – в отличие от ТФОП – состоит в следующем.

Во-первых, до проведения измерений (т.е. до ввода сети в эксплуатацию) сложно определить характер функции $Y_S=f(L)$.

Во-вторых, эта функция подвержена краткосрочным (в течение суток) и долгосрочным (в течение нескольких лет) изменениям. Второй фактор связан с тем, что в некоторых случаях (активизация терминала после выключения, роуминг и ряд процедур, связанных

с доступом к дополнительным услугам) возрастает количество операций, которые необходимо выполнить оборудованию сети для организации связи. Это может приводить к росту времени установления соединений, что, конечно, снижает уровень качества обслуживания в СПС. Решение возникающих задач достигается повышением пропускной способности СПС и производительности ее элементов. Кроме того, важным средством следует считать получение более точных прогностических оценок спроса на услуги тех видов, предоставление которых связано с выполнением большого объема логических операций.

Третий фактор обусловлен необходимостью совместного использования двух разных подходов (и разного математического аппарата), ранее использовавшихся независимо. Речь идет о принципах расчета пропускной способности сети, с одной стороны, и частотно-территориального планирования – с другой стороны. Констатация этого факта – только «вершина айсберга», исследованию которого посвящен ряд монографий и статей российских и зарубежных ученых.

СПС, с точки зрения качества обслуживания, имеет одно важное преимущество перед сетями фиксированной связи. Допустим, что сеть фиксированной телефонной связи успешно установила соединение в полном соответствии со всеми показателями качества обслуживания. Это не означает, что удастся поговорить именно с тем человеком, с которым необходимо обменяться информацией. Такая ситуация может иметь место, если соединение установлено с телефонным аппаратом в квартире, где проживает несколько человек, или в офисе, в котором работает несколько сотрудников. Мобильный терминал, как правило, является персональным устройством. Поэтому ответ вызываемого мобильного терминала с очень высокой вероятностью означает возможность разговора с нужным человеком. В результате снижается количество свойственных ТФОП повторных попыток установления соединения, которые непроизводительно занимают ресурсы сети. Цель установления соединения именно к требуемому пользователю была поставлена давно, до широкого распространения СПС. Международный союз электросвязи разработал концепцию универсальной персональной связи, предназначенной для установления соединений в сетях фиксированной связи с тем абонентом, который действительно нужен. Однако только по мере развития СПС эта цель была достигнута на практике в полном объеме.

18.6. Инструментальные средства для оценки QoS

Существует несколько способов оценки качества обслуживания в СПС. Первыми такими способами являлись *тесты в процессе*

перемещения. Команда исполнителей, которую организует Оператор, ездит по заранее заданным маршрутам в сети и периодически инициирует вызовы. Результаты (например, не состоявшийся хэндовер, плохая слышимость, прерванные соединения и т.п.) передаются из мобильных терминалов этой команды в специализированный компьютер для статистической обработки. Этот вид измерений представляет качество сети наиболее близко к тому, с чем сталкиваются реальные абоненты. Однако недостаток этого метода состоит в том, что удастся проверить только ограниченную область и небольшое временное окно, причем само тестирование стоит чрезвычайно дорого. Поэтому создаются разные измерительные приборы для оценки характеристик QoS, которые позволяют судить о качестве связи более или менее объективно и в реальном времени, используются анализаторы сигнализации класса SNTlite, которые периодически подсоединяются к интерфейсам станций BTS, контроллеров BSC и центров коммутации MSC, а также имитаторы нагрузки класса АВИСТЕН и другая контрольно-измерительная аппаратура.

Весьма перспективными представляются методы, базирующиеся на системах сетевого мониторинга класса СПАЙДЕР [17]. Периферийные модули системы мониторинга подключаются к сетевому оборудованию СПС и путем удаленного доступа собирают данные для центра управления. Устанавливаемые в сетевых элементах системы мониторинга разнообразные счетчики всевозможных событий постоянно снабжают центр управления информацией о состоянии сети и о качестве обслуживания, которое она обеспечивает. Примерами таких подсчитываемых событий могут являться количество входящих и исходящих хэндоверов; вызовы, прерванные до, во время и после ответа вызываемого абонента; вызовы, потерянные из-за отсутствия сетевых ресурсов. Важное преимущество результатов измерений с помощью системы мониторинга состоит в том, что обеспечивается информация о качестве всей сети, а не единичных станций BTS, контроллеров BSC или узлов MSC. Эта информация более объективна, так как она в наименьшей степени зависит от специфических особенностей тех или иных абонентов. Более того, в центр управления могут быть загружены эталонные файлы трассировки для статистической оценки. Если обнаруживаются проблемы, реальный и эталонный файлы трассировки можно анализировать более тщательно и даже вручную. Такое сочетание результатов измерения системой мониторинга, тестового оборудования для анализа протоколов и самого дорогого – тестирования в движении – позволяет сделать квалифицированное и объективное заключение о реальном качестве обслуживания QoS в сети подвижной связи.



Ключевые слова: обслуживание операторского класса, качество обслуживания QoS, коэффициент готовности, пять девяток, доля неуспешных вызовов, время установления соединения, E-модель, концепция универсальной персональной связи, рекомендации E.800, E.860, E.430, Y.1514, Y.1540, Y.1541, доступность сети NA, доступность услуги, непрерывность услуги, полноценность услуги, ETR 003, ETR 138, нормирование показателей QoS, мобильность терминала, 3GPP TS 23.107, 3GPP TS 29.208, анализатор сигнализации SNTlite, имитатор нагрузки АВИСТЕН, мониторинг сети СПАЙДЕР, измерения QoS, интенсивность нагрузки на единицу площади, эрланг на квадратный километр, планирование СПС.



Контрольные вопросы

1. Приведите примеры, соответствующие строкам табл. 18.1. Покажите, как рассчитываются значения правого столбца.
2. Какие факторы, помимо надежности, оказывают влияние на потери в СПС?
3. Укажите рекомендации ITU-T о качестве обслуживания мобильной связью.
4. Какие показатели QoS рассматриваются в работах ETSI и 3GPP?
5. Дайте определения доступности сети, доступности услуги, непрерывности и полноценности обслуживания.
6. В чем разница технических показателей качества для услуг телефонии и SMS?
7. Что такое «эрланг на квадратный километр»?
8. Какие инструментальные средства измерения QoS применяются в СПС?



Задачи и упражнения

1. Сделайте анализ изменения нагрузки Y_S по мере удаленности от центра города согласно графику на рис. 18.2. Напишите алгоритм расчета нагрузки сети подвижной связи в одном городе. В чем основные отличия такого алгоритма от расчета нагрузки ГТС фиксированной телефонной сети.



Дополнительная литература к лекции 18

- 18.1. Бабков В.Ю., Полинцев П.В. Устюжанин В.И. Качество услуг мобильной связи. Оценка, контроль и управление. Под ред. профессора А.А.Гоголя. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 160 с.
- 18.2. Тихвинский В.О., Володина Е.Е. Подвижная связь третьего поколения. Экономика и качество услуг. – М.: Радио и связь, Горячая линия-Телеком, 2005. – 240 с.
- 18.3. Битнер В.И., Попов Г.Н. Нормирование качества телекоммуникационных услуг: Учебное пособие. Под ред. профессора В.П. Шувалова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 312 с.

Лекция 19

Задачи расчета СПС

*В любой науке столько истины, сколько в ней математики.
Иммануил Кант*

19.1. Особенности расчета сетей СПС

Задачи расчета сетей подвижной связи, так же, как и сетей связи в целом, могут быть разделены, как отмечено в лекции 9, на топологические задачи, задачи оценки качества обслуживания и задачи, связанные с расчетом пропускной способности. Однако специфика подвижной связи ведет к определенным, весьма существенным особенностям в задачах расчета СПС.

Эти особенности связаны, в первую очередь, со свойствами радиоинтерфейса (на участке MS – BTS), определяемыми средой с ограниченным частотным ресурсом. Конечная полоса радиоспектра, выделяемого для передачи и приема, приводит к необходимости повторного использования частотных ресурсов (задача частотно-территориального планирования) и к применению перспективных методов модуляции и кодирования (задача повышения пропускной способности системы,отягощенная наличием радиоканала, и, следовательно, более низкой помехоустойчивостью, чем в проводных системах связи).

Что же касается оценки параметров качества обслуживания, в задачах расчета СПС функционируют два типа систем массового обслуживания: системы с потерями (например, система GSM для передачи речи) и системы с ожиданием (например, система GPRS с пакетной передачей данных).

В первом случае необходимо оценить вероятность потери вызова, тогда как во втором – задержки и потери пакетов.

В этой лекции мы рассмотрим задачи, относящиеся к проблеме повторного использования частотного ресурса, к расчету емкости СПС и к оценке пропускной способности узла коммутации GPRS.

19.2. Повторное использование частот в СПС

Как уже отмечалось в предыдущих лекциях, посвященных СПС, основным принципом построения сотовых сетей связи является *повторное использование частот*.

Принцип повторного использования частот состоит в том, что в соседних (смежных) сотах системы подвижной связи используются разные полосы частот, а в не смежных сотах при достаточном удалении их друг от друга используемые полосы частот повторяются. Такой принцип позволяет при ограниченном частотном ресурсе, выделяемом Операторам СПС, охватить сотовой сетью сколь угодно большую зону обслуживания при достаточном числе абонентов.

Распределение частот между базовыми станциями BTS является одной из подзадач общей задачи *частотно-территориального планирования радиосети*, включающей в себя также определение мест расположения BTS, выбор типа антенн и высоты их подвеса и определение мощности передатчиков.

В большинстве книг о сотовых сетях связи рассматриваются возможные подходы к решению задачи частотно-территориального планирования, однако решение этой задачи в полном объеме представляет собой весьма сложную проблему и проводится с использованием специально разработанных пакетов программ, являющихся собственностью фирм и не публикуемых в открытой печати. В этом параграфе мы рассмотрим только проблему повторного использования частот.

Введем понятие *кластер* для определения группы сот, в которых используются не совпадающие частотные полосы (или частоты). Кластер характеризуется величиной η , называемой *коэффициентом повторного использования частот*. На рис. 19.1 представлена схема размещения сот на обслуживаемой территории для случая, когда параметр η равен 3 ячейкам.

Одинаковыми буквенными символами обозначены ячейки, в которых используются одинаковые полосы частот: (A, B, C). Общее число ячеек, которые используются в этом шаблоне, равно 9.

Из рисунка следует, что $\eta = 3$ является минимально возможным значением коэффициента повторного использования частот. При такой структуре кластера влияние сигналов одинаковых частот из соседних кластеров (явление соканальной интерференции) является максимальным.

Очевидно, что чем больше параметр η , тем реже повторяются используемые частоты. Таким образом, для снижения уровня соканальной интерференции расстояние между сотами с одинаковыми частотами в разных кластерах должно быть по возможности большим. С другой стороны, увеличение числа сот в одном кластере ведет к пропорциональному уменьшению частот, используемых в одной соте, и, как следствие, к уменьшению числа абонентов, обслуживаемых в одной соте.

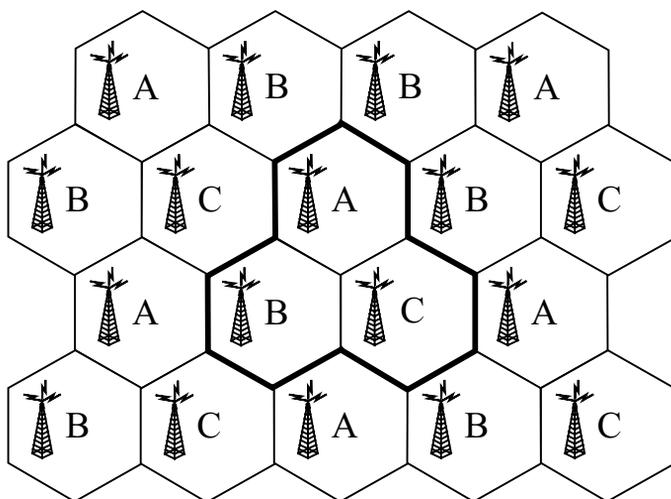


Рис. 19.1. Кластер шаблона $\eta = 3$

На практике в городах и областях со сплошным сотовым покрытием применяют кластеры, где каждую соту делят на 3 сектора, используя антенны направленного излучения с шириной диаграммы направленности 120° .

Структура кластера с шаблоном 3/9 (три соты кластера делятся на 9 секторов, в каждом из которых используется неповторяющийся в кластере набор частот), показана на рис. 19.2. При проектировании СПС, кроме шаблона 3/9, используются стандартные шаблоны 4/12 и 7/21.

Базовые станции, в которых разрешено повторное использование частот, удалены друг от друга на расстояние D , измеряемое между центрами шестиугольных ячеек и называемое *защитным интервалом*. Исходя из геометрических соображений, можно определить параметр D в следующем виде:

$$D = R\sqrt{3\eta}, \quad (19.1)$$

где R – радиус окружности, описанной вокруг правильного шестиугольника. Отношение $\frac{D}{R}$ определяется как коэффициент уменьшения соканальных помех.

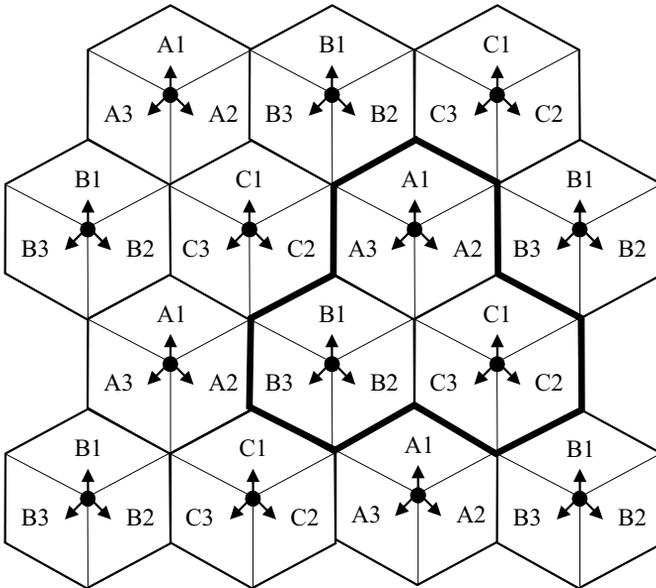


Рис. 19.2. Кластер с шаблоном 3/9

Каждой BTS выделяется набор из N каналов для обслуживания абонентов с шириной полосы частот каждого канала, равной F_k .

Тогда общая ширина полосы частот F_Σ , занимаемая СПС, составит:

$$F_\Sigma = \eta N F_k. \quad (19.2)$$

Зная общую величину частотного диапазона, выделяемого для определенной сотовой сети, можно определить число каналов в соте:

$$N = \frac{F_\Sigma}{\eta F_k}. \quad (19.3)$$

19.3. Расчет емкости сети подвижной связи

Под емкостью сети подвижной связи подразумевается количество абонентов A , которое сеть способна обслужить при заданных:

- вероятности потерь P_{loss} (вероятность отказа в установлении соединения);
- числе физических каналов на соту N ;
- числе сот M на территории покрытия.

В системе GSM речь передается в режиме коммутации каналов, поэтому вероятность потерь оценивается в соответствии с *B-формулой* Эрланга, рассмотренной в лекции 9. Вероятность потерь P_{loss} в сети GSM обычно задается в пределах от 0,01 до 0,05.

Задача расчета емкости системы сотовой связи решается в следующем порядке.

1. Зная число каналов на соту, можно определить из таблицы для *B-формулы* Эрланга допустимое значение интенсивности трафика Y_c в Эрлангах, обслуживаемого в соте при заданной вероятности P_{loss} .

2. Интенсивность нагрузки одного абонента Y_i оценивается в период наибольшей нагрузки при известных средней длительности одного занятия и количестве вызовов. Этот параметр обычно известен при расчетах нагрузки и его величина на начальных этапах развития сетей подвижной связи принимается равной 0,015 эрл.

3. Количество абонентов, которые могут быть обслужены в одной соте, оценивается отношением следующего вида:

$$a = \frac{Y_c}{Y_i} . \quad (19.4)$$

4. Количество абонентов A , которые могут быть обслужены всей совокупностью M сот (при условии их равномерной загрузки) равно:

$$A = aM . \quad (19.5)$$

19.4. Оценка пропускной способности транспортной сети в GPRS

Расчет пропускной способности транспортной сети GPRS (домена PS) определяется требованиями к показателям качества обслуживания, в частности, к величине задержки.

Система GPRS, как и любая сеть связи, моделируется системой массового обслуживания (СМО), и при расчете пропускной способности используются формулы, соответствующие выбранной модели. Поскольку система GPRS использует режим коммутации пакетов, для моделирования такой системы применяются системы с очередями.

Системы с очередями более детально рассматриваются в лекции 29, а здесь мы воспользуемся готовыми результатами для этих систем и применим их для оценки пропускной способности при условии, что среднее время задержки в транспортной сети не превысит допустимое значение.

Используя статистические данные о характере потоков в транспортной сети GPRS и приняв вполне разумные предположения о размере памяти в узлах системы GPRS, мы используем для моделирования коммутатора GPRS систему M/G/1 (пуассоновский поток на входе, общий вид распределения, времени обслуживания, один обслуживающий прибор, бесконечный размер буфера).

Средняя задержка протокольного блока в такой системе рассчитывается по формуле Хинчина-Полячека, к которой мы вернемся в параграфе 29.2:

$$\bar{t}_q = \frac{\bar{q}}{\lambda} = \bar{t}_s \left[1 + \rho \frac{1 + C_s^2}{2(1 - \rho)} \right], \quad (19.6)$$

где

\bar{q} – средняя длина очереди в рассматриваемой системе (в числе протокольных блоков ПБ);

$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ – интенсивность нагрузки системы M/G/1, разумеется,
 $\rho < 1$;

λ, μ – значения интенсивности поступления и обслуживания ПБ в системе, соответственно;

\bar{t}_s – среднее время обслуживания ПБ в системе;

$$C_s^2 = \frac{D(t_s)}{(\bar{t}_s)^2} - \text{квадратичный коэффициент вариации времени}$$

обслуживания, равный отношению дисперсии времени обслуживания к квадрату его математического ожидания.

Для расчета задержек мы должны знать скорость передачи данных B на выходе узла GPRS, которая определяет интенсивность обслуживания как $\mu = \frac{\bar{l}}{B}$, где \bar{l} – средняя длина ПБ. С другой стороны, если известны нормы средней задержки, то всегда можно найти из уравнения (19.3) требуемую скорость передачи.

Предположим, что на вход коммутатора GPRS поступает пуассоновский поток, время обслуживания распределено по экспоненциальному закону, память бесконечна и используется один выходной канал (система массового обслуживания $M/M/1$). В этом случае, с учетом значений квадратичного коэффициента вариации, приведенных в табл. 19.1, выражение (19.6) принимает следующий вид:

$$\bar{t}_q = \bar{t}_s \left(1 + \frac{\rho}{1-\rho} \right), \quad \rho < 1. \quad (19.7)$$

Путем несложных преобразований формулы (19.6) можно получить неравенство для оценки скорости передачи в выходном канале узла GPRS при выбранной модели:

$$B > \lambda \bar{l}. \quad (19.8)$$

Поскольку узел GPRS обслуживает пакеты, его можно моделировать системой с постоянным временем обслуживания типа $M/D/1$. Тогда уравнение (19.6) принимает следующий вид:

$$\bar{t}_q = \bar{t}_s \left[1 + \frac{\rho}{2(1-\rho)} \right], \quad \rho < 1. \quad (19.9)$$

Из выражения (19.9) можно получить приближенную оценку скорости передачи на выходе узла GPRS:

$$B > \frac{\lambda l}{2}. \quad (19.10)$$

Для точного расчета скорости передачи из уравнения (19.6), кроме интенсивности λ (в числе протокольных блоков в единицу времени) и средней длины протокольного блока (в битах на блок), необходимо знать величину квадратичного коэффициента C_s^2 распределения длин блоков, а также нормы средней задержки.

В табл. 19.1 приведены средние значения задержек трех классов обслуживания, различающихся приоритетом (взяты из стандартов ETSI для системы GPRS).

Таблица 19.1. Значения задержек для различных классов обслуживания

Класс обслуживания	Средняя задержка, с, Размер SDU равен 128 байтов	Средняя задержка, с, Размер SDU равен 1024 байта
1	< 0,5	< 2
2	< 5	< 15
3	< 50	< 75

В табл. 19.1 определено 3 класса задержки в зависимости от норм для задержки и от длины пакета.

Наивысший приоритет имеет Класс 1, нормальный приоритет – Класс 2, наименьший – Класс 3. Имеется также Класс 4, не показанный в таблице.

В Классе 4 задержки не определены, поскольку обслуживание пакетов этого класса производится по принципу best effort (принцип «наилучшей попытки»).

Значения интенсивности поступления пакетов λ могут быть выбраны на основе статистических исследований. Как показывает статистика, число пакетов, поступающих в единицу времени на вход коммутатора GPRS, может меняться в широких пределах от сотен пакетов/с во входных узлах до нескольких тысяч пакетов/с в магистральных узлах.

Таблица 19.2. Скорости передачи в SONET/SDH

Скорости передачи, Мбит/с	Системы передачи
2,048	PDH E1
8,448	PDH E2
34,368	PDH E3
155,52	SDH STM-1
622,08	SDH STM-4
2488,2	SDH STM-16

В табл. 19.2 приведены значения скорости передачи, которые могут быть реализованы на выходе коммутатора GPRS в зависимости от его места в сети.

В обслуживающих узлах GPRS (SGSN) могут быть использованы тракты E1 плезихронной цифровой иерархии со скоростью передачи 2,048 Мбит/с, тогда как в магистральных узлах GGSN, где агрегируется нагрузка большого числа источников пакетного трафика, могут использоваться системы STM синхронной цифровой иерархии.



Ключевые слова: пропускная способность, оценки QoS, частотно-территориальное планирование, система с потерями, система с ожиданием, кластер, коэффициент повторного использования частот η , защитный интервал D , вероятность потерь P_{loss} , В-формула Эрланга, квадратичный коэффициент вариации, формула Хинчина-Полячека.



Контрольные вопросы

1. В чем специфика расчета СПС по отношению к расчету фиксированной телефонной сети и сети передачи данных?
2. Определите основные задачи частотно-территориального планирования радиосети.
3. Определите понятие «кластер».
4. Какие соображения необходимо принимать во внимание при выборе параметра η ?
5. Объясните понятия «защитный интервал» и «коэффициент повторного использования частот».
6. Как связаны между собой нагрузка одного абонента соты и число абонентов, обслуживаемых СПС?
7. Как учитывается квадратичный коэффициент вариации в расчетах пропускной способности коммутатора GPRS?
8. Объясните, почему в системе $M/M/1$ скорость передачи на выходе коммутатора примерно в два раза выше скорости передачи в узле, моделируемом системой $M/D/1$.



Задачи и упражнения

1. Рассчитайте число частотных каналов в соте при следующих исходных данных: полоса частот, выделяемых для СПС, – 25 МГц; один частотный канал занимает 200 кГц; коэффициент повторного использования частот равен трем.
2. Рассчитайте коэффициенты уменьшения соканальных помех для значений η , приведенных в этой лекции.
3. Решите задачу определения емкости СПС на основании следующих данных: вероятность потерь $P_{\text{loss}} = 0,02$; удельная интенсивность нагрузки одного абонента равна 0,02 эрл; число каналов в соте равно 8; общее число сот равно 100.
4. Определите скорость на выходе коммутатора GPRS для типичных значений длины протокольного блока и интенсивности входящего потока.



Литература к лекции 19

- 19.1. Макаров С.Б., Певцов Н.В., Попов Е.А., Сиверс М.А. Телекоммуникационные технологии. Введение в технологии GSM. – М.: Академия, 2006.
- 19.2. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM. – М.: Эко-Трендз, 2005.

Лекция 20

Перспективы развития СПС

*Господи, в интимном разговоре
дерзкие прости мои слова,
сладость утопических теорий –
пробуй ты на автора сперва.*

И. Губерман

20.1. Перспективы сетей подвижной связи

Жаль, что приведенный в эпиграфе совет Губермана не услышали соискатели первых лицензий на сети 3G. Тогда меньше было бы потрачено денег и напечатано текстов с восхвалениями видеоконференц-связи на бегу. Но все же, происходящий у нас на глазах лавинообразный рост численности пользователей мобильной связью заставляет более серьезно относиться к кажущемуся утопическим прогнозу развития операторской сети подвижной связи Японии на ближайшее будущее, сделанному Кейджи Тачикава – президентом японской сотовой компании DoCoMo – еще на выставке «Телеком-2003» в Женеве. Его прогноз приведен в табл. 20.1.

Этот прогноз, помимо фантастического количественного роста, иллюстрирует также движение от эры коммуникаций «человек – человек» к эре «человек – машина» и даже «машина – машина».

Грандиозность этих новых возможностей обусловлена тем, что в настоящее время планету населяют миллиарды людей, а количество микропроцессоров уже составляет десятки миллиардов. Сегодня никого не удивляет чип мобильной связи, встроенный в систему

охраны автомобиля, завтра не будет удивлять такой же чип, вшитый в ошейник любимой собаки, или обмен данными вашего мобильного телефона с домашним холодильником во время посещения универсама.

Таблица 20.1. Прогноз развития СПС Японии

Люди	130 млн. номеров
Автомобили	100 млн. номеров
Велосипеды	60 млн. номеров
Мобильные персональные компьютеры	50 млн. номеров
Собаки и кошки	20 млн. номеров
Корабли, мотоциклы и пр.	10 млн. номеров
Телевизионные приставки STB	90 млн. номеров
Цифровые фотоаппараты	30 млн. номеров
Видеокамеры	20 млн. номеров
Холодильники	40 млн. номеров
Домашние службы различного значения	30 млн. номеров
Итого	580 млн. номеров

Технические устройства обладают все большими интеллектуальными возможностями, а одним из свойств интеллектуальности является способность участвовать в коммуникациях. Поскольку мир устройств с возможностями коммуникации разрастается, растет и объем трафика между ними.

По прогнозам авторов сегодняшние разработки приведут к тому, что завтра большая часть трафика будет создаваться межмашинными коммуникациями, а традиционные коммуникации «человек-человек» составят лишь небольшую часть сетевого трафика. Разумеется, та же тенденция имеет место и в фиксированной сети телефонной связи, рассмотренной в первых десяти главах этой книги. И в еще большей степени – в компьютерных сетях, которым посвящены следующие десять лекций части 3.

С учетом того, что скорость передачи данных в фиксированных сетях превышает возможности сотовой связи практически на порядок, вполне возможно следующее развитие событий. Именно через ТФОП (часть 1) в скором времени уже не люди, проживающие в квартире, а их домашний холодильник сам позвонит в центр сервисного обслуживания, или свяжется с этим центром через сеть передачи данных (часть 3), сообщит так или иначе о своих технических проблемах, и решит эти проблемы с помощью Web-агента центра задолго до того, как кто-то из людей вообще заметит, что что-то не в порядке.

Что же касается долгосрочных перспектив СПС (часть 2), то именно совместное использование ресурсов сетей мобильной и фиксированной связи является ключевой концепцией современно-

го этапа конвергенции FMC, о чем говорилось во вводной лекции и показано в ней на выделенной части рис. 0.2.

С учетом этого процесса конвергенции в будущем мобильная связь в рамках FMC будет продолжать эффективно дополняться технологиями беспроводного широкополосного доступа Wi-Fi и WiMAX, обеспечивающими высокоскоростной доступ в Интернет при меньшей мобильности и дальности. Непосредственно эволюции технологий мобильной связи посвящен следующий раздел.

20.2. Эволюция технологий СПС

Продолжая высказанную выше мысль о приоритетности услуг передачи данных в процессе развития мобильной связи, рассмотрим эволюцию технологий СПС (в том числе тех, что были освещены в предыдущих девяти лекциях части 2), отметив на логарифмической шкале поддерживаемые ими скорости передачи – рис. 20.1.

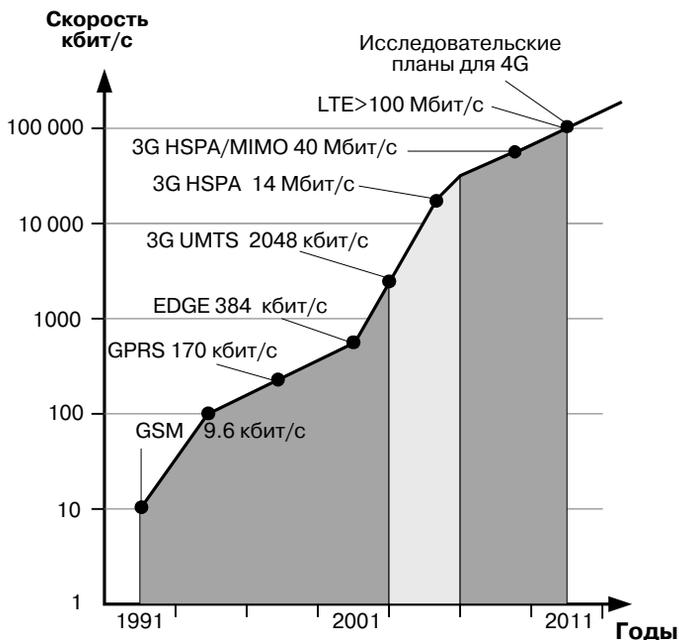


Рис. 20.1. Эволюция технологий мобильной связи

На этом рисунке отмечены годы *начала* внедрения той или иной технологии, но отнюдь не ее конца. Авторы полагают, что успешно функционирующая сегодня GSM доживет примерно до 2020 года, что параллельно с ней будет развиваться UMTS, что возможности GSM/UMTS в условиях ограниченной мобильности будут расширяться технологиями Wi-Fi и WiMAX.

В 2011 году ожидаются первые шаги коммерческой эксплуатации сетей на основе технологий с многообещающим наименованием *LTE (Long-Term Evolution)*, которые позволят обеспечить скорость передачи данных от 100 и до 300 Мбит/с.

20.3. Технологии 4G

Предпосылки мобильных сетей четвертого поколения базируются на бесшовной интеграции широкополосного беспроводного доступа и глобальной мобильности. Предвестниками 4G можно считать представленные на рис. 20.1 системы с многоканальными входами/выходами *MIMO (Multiple Input Multiple Output)* и другие средства, позволяющие развивать возможности мобильной связи. Что касается радиоинтерфейсов, то здесь перспективной представляется технология *множественного доступа с ортогональным частотным разделением каналов OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)*, обладающая устойчивостью к ухудшению таких характеристик каналов, как, например, затухание. Для бесшовной интеграции в 4G разработана технология программно-определяемого радиоборудования *SDR (Software-Defined Radio)*, позволяющая работать с несколькими методами модуляции, скачкообразной перестройкой частоты, безопасностью связи, роумингом и услугами широкополосной мобильной связи. Кроме того, партнерство 3GPP утвердило стандарт *LTE* в качестве 4-го поколения сотовой подвижной радиосвязи. Согласно международному регламенту, для *LTE* выделено 2 полосы частот. Одна из них совпадает с полосой для сетей *UMTS* – 2 ГГц, вторая полоса должна быть расположена в диапазоне 760-870 МГц.

Для более глубокого изучения перспектив СПС рекомендуется статья [19], где рассматриваются не только перспективы, но и естественные ограничения мобильной связи. О последнем в этой лекции почти ничего не говорится, хотя читателю, наблюдающему сегодняшней бурный рост этой индустрии, не вредно напомнить известные еще из школьного курса физики вещи: ограниченность частотного ресурса, уменьшение дальности распространения радиоволн с увеличением частоты (а следовательно, сокращение размера сот и увеличение количества хэндоверов), эффект Доплера, наконец. Там же, впрочем, приводятся и некоторые обсуждающиеся сегодня идеи преодоления этих физических ограничений, способные поддержать энтузиазм читателя относительно перспектив СПС.

Здесь же заметим, что в отличие от рассмотренных в предыдущих лекциях поколений 1G, 2G, 3G перспективное поколение 4G не связывается с какой-то одной определенной технологией и рассматривается как технологически независимое. Более того, вы-

шеизложенное демонстрирует 4G как некую конвергенцию «чисто мобильных» технологий типа OFDM и SDR и широкополосных технологий Wi-Fi и WiMAX с весьма ограниченной мобильностью. Кстати, экспериментальной сетью на базе WiMAX в Санкт-Петербурге авторы уже успешно пользовались при работе над этой книгой.

В преддверии начинающейся со следующей лекции части 3, посвященной сетям передачи данных, к этому следует добавить еще одно принципиальное отличие сетей 4G от 3G: технология 4G полностью основана на протоколах пакетной передачи данных, в то время как 3G все еще соединяет в себе коммутацию каналов и коммутацию пакетов.

На этой оптимистической ноте мы завершим более чем краткий обзор перспективных транспортных технологий СПС и перейдем к не менее важной теме – перспективам услуг СПС, что было обещано еще в лекции 17.

20.4. Концепция IMS

Важнейшей концепцией перспективных сетей мобильной связи, равно как и находящихся в процессе конвергенции с ними сетей фиксированной связи, является уже упоминавшаяся концепция IMS. Сама эта концепция появилась на основе весьма перспективной (и, в отличие от сказанного в эпиграфе, совсем не утопической) теории декомпозиции, предложившей физически разделить функции управления обслуживанием вызова и функции установления и поддержания сеанса связи. Элементы декомпозиции были видны не только в процессе эволюции поколений 1G, 2G, 3G мобильной связи в предыдущих лекциях этой части, но и при рассмотрении в лекциях части 1 этапов узкополосных цифровых сетей интегрального обслуживания (ISDN), Интеллектуальной сети (IN), широкополосных сетей ISDN (B-ISDN) и гибких коммутаторов Softswitch. Естественным продолжением этой работы и стала концепция *подсистемы мультимедийных услуг на базе IP – IMS (IP Multimedia Subsystem)*, описывающая новую сетевую архитектуру, основным элементом которой является пакетная транспортная сеть, поддерживающая все возможные технологии доступа и обеспечивающая реализацию практически неограниченного числа новых инфокоммуникационных услуг.

Как уже упоминалось в лекции 16, эта концепция изначально разрабатывалась 3GPP применительно к построению сети подвижной связи 3G, полностью базирующейся на протоколе IP и названной *All-IP*, но, в силу трудоемкости задачи, ее решение была разбито на Rel'4 и Rel'5. Описанный в параграфе 16.5 релиз 4 был закончен без введения концепции IMS, а его основными нововведениями

стали эволюция домена коммутации каналов в направлении разделения транспорта и управления. Таким образом, уже в Rel'4 сделан первый шаг в декомпозиции монолитного MSC на функции транспортного шлюза, которые выполняет *медиашлюз MGW*, и функции управления обслуживанием вызовов с поддержкой мобильности, возложенные на *MSC Server*. Это обсуждалось в лекции 16 и иллюстрируется там рис. 16.3.

В релизе 5 функции MSC подразделяются на два основных функциональных объекта: *Call Session Control Function (CSCF)* содержит все функции, относящиеся к управлению состояниями сеансов связи, а *Media Gateway Control Functions (MGCF)* включает в себя функции, необходимые для управления медиашлюзами. В этом же релизе была впервые представлена концепция IMS. Там была сформулирована основная цель новой концепции – *поддержка мультимедийных услуг в мобильных сетях на базе протокола IP* – и были специфицированы механизмы взаимодействия мобильных сетей 3G с беспроводными сетями Wi-Fi и WiMAX, базирующиеся на архитектуре IMS.

Архитектура сетей 3G в соответствии с концепцией IMS имеет несколько уровней (плоскостей) с разделением по плоскостям медиашлюзов и доступа, управления и приложений.

Подсистема IMS становится полностью независимой от технологий доступа и должна обеспечивать взаимодействие со всеми существующими сетями – мобильными и фиксированными, телефонными, компьютерными и т.д. В релизе 5 работа над IMS не была закончена: были лишь проработаны основные моменты и намечены пути развития в направлении к релизу 6. И все же, в Rel'5 была создана полностью базирующаяся на IP архитектура IMS, определены ее сетевые элементы и интерфейсы между ними, а также функции начисления платы.

Rel'6 был призван ликвидировать возможные недоработки Rel'5 и добавить несколько новых функций. В документе 3GPP Rel'6 (декабрь 2003 г.) ряд положений концепции IMS был уточнен; были добавлены вопросы взаимодействия с беспроводными локальными сетями и защиты информации (использование ключей, абонентских сертификатов).

Rel'7 концепции IMS разрабатывается уже совместно с комитетом TISPAN (Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking), ETSI, благодаря чему в нем рассматривается взаимодействие мобильных и фиксированных сетей, т.е. сделан первый реальный шаг в направлении конвергенции этих сетей. Проект TISPAN появился в сентябре 2003 года как результат слияния проекта *SPAN (Services and Protocols for Advanced Networking)* и упоминавшегося выше проекта *TIPHON*.

Спецификация Rel'7 добавляет две основные функции, которые являются ключевыми в фиксированных сетях:

- функция Network Attachment, которая обеспечивает механизм аутентификации абонентов и необходима в фиксированных сетях, поскольку в них отсутствуют SIM-карты идентификации пользователя;
- функция Resource Admission, резервирующая сетевые ресурсы в фиксированных сетях для обеспечения сеансов связи.

20.5. Архитектура IMS

По существу, IMS возникла, когда область управления мультимедийными сеансами на базе протокола SIP была добавлена к архитектуре сетей 3G. Среди основных свойств архитектуры IMS (рис. 20.2) выделим следующие:

- многоуровневая архитектура сети, которая разделяет уровни транспорта (медиашлюзов и доступа), управления и приложений;
- независимость от среды доступа, которая позволяет Операторам и сервис-провайдерам осуществлять конвергенцию фиксированных и мобильных сетей;
- поддержка мультимедийного персонального обмена информацией в реальном времени (например, речь, видеотелефония) и аналогичного обмена информацией между людьми и компьютерами;
- полная интеграция мультимедийных приложений реального и не реального времени (например, потоковые приложения и чаты);
- возможность взаимодействия услуг разных видов (например, услуг присутствия Presence или обмена мгновенными сообщениями Instant Messaging);
- возможность организации нескольких услуг в одном сеансе или организации нескольких одновременных синхронизированных сеансов.

Термин «*подсистема*» (*subsystem*) в названии концепции IMS (а название концепции переведено здесь как *подсистема IP-ориентированных мультимедийных услуг*) можно трактовать как название *части сети*, элементы которой расположены на плоскости управления между плоскостью медиашлюзов и доступа и плоскостью приложений.

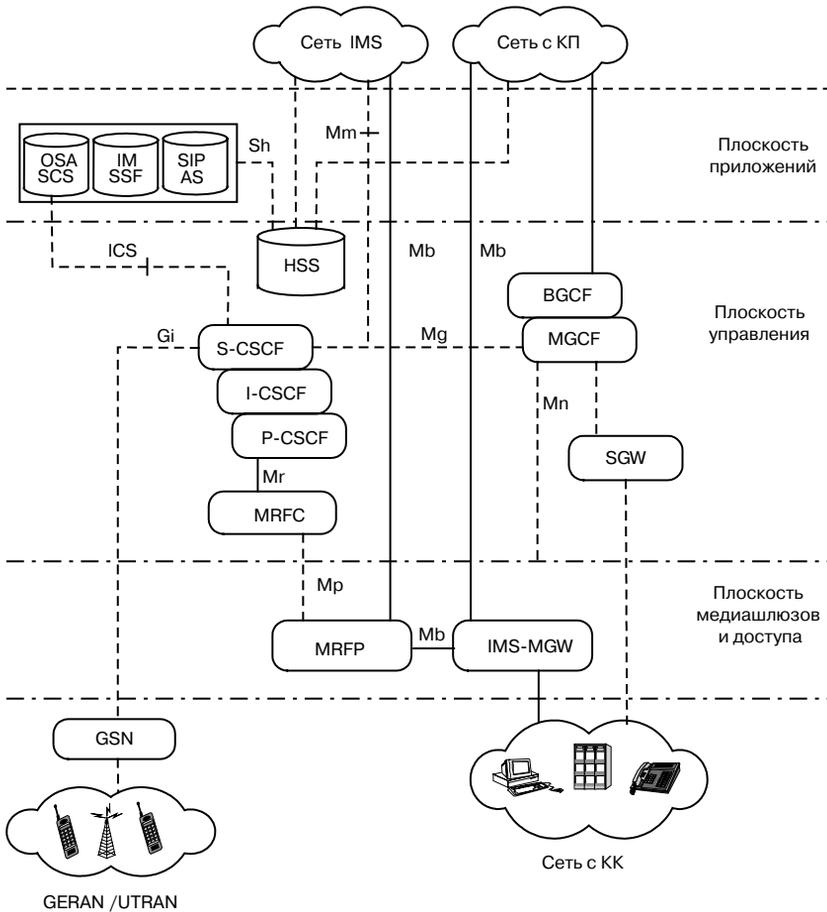


Рис. 20.2. Упрощенная архитектура IMS

На рис. 20.2 показана сеть, имеющая трехуровневую архитектуру, которая включает в себя три плоскости – плоскость медиашлюзов и доступа, плоскость управления и плоскость услуг. Подсистема мультимедийной связи расположена в плоскости управления, которая является основной в архитектуре IMS. На этом рисунке показаны также основные элементы платформы IMS, которые определяются не как устройства (что характерно для традиционных сетей), а как логические функции.

Для IMS разработана многоуровневая архитектура с разделением транспорта для переноса трафика и сигнальной сети IMS для управления сеансами. Таким образом, 3GPP при разработке IMS фактически продолжил начатый в Rel'4 перенос на мобильные сети основной идеологии Softswitch.

Хотя некоторые функции IMS не всегда легко отнести к той или иной плоскости, но такой подход обеспечивает минимальную зависимость между плоскостями и, к тому же, облегчает авторам задачу рассмотрения архитектуры IMS в этой книге.

Еще раз подчеркнем, что IMS специфицирует не узлы сети, а функции, соединенные стандартными интерфейсами. Разработчики вправе объединить несколько функций в одном физическом объекте или, наоборот, реализовать одну функцию распределенно, однако чаще всего физическую архитектуру ставят в соответствие функциональной и реализуют каждую функцию в отдельном узле.

20.6. Плоскость управления IMS

Новым ключевым элементом в архитектуре IMS является *функция управления сеансами связи (Call Session Control Function, CSCF)*. Функция CSCF является основной функцией на плоскости управления IMS-платформы. Модуль CSCF, используя протокол SIP, выполняет функции, обеспечивающие доставку множества услуг реального времени с использованием транспорта IP. Функция CSCF использует динамическую информацию для эффективного управления сетевыми ресурсами (пограничные устройства, шлюзы и серверы приложений) в зависимости от профиля пользователей и приложений. Модуль CSCF включает в свой состав три основные функции (рис. 20.2):

- Serving CSCF (S-CSCF)
- Proxy CSCF (P-CSCF)
- Interrogating CSCF (I-CSCF)

Функция S-CSCF обеспечивает управление сеансами доставки мультимедийных сообщений с использованием транспорта IP, включая регистрацию терминалов, двухстороннее взаимодействие с сервером HSS (получение от него пользовательских данных), анализ сообщения, маршрутизацию, управление сетевыми ресурсами (шлюзами, серверами, пограничными устройствами) в зависимости от приложений и от профиля пользователя.

Функция P-CSCF создает первую контактную точку внутри ядра IMS для терминалов IMS данной сети. Функция P-CSCF принимает запрос от терминала или к терминалу и маршрутизирует его к элементам ядра IMS. Обслуживаемый терминал пользователя закрепляется за функцией P-CSCF при регистрации в этой сети на все время регистрации. Модуль P-CSCF реализует функции, связанные с аутентификацией пользователя, формирует учетные записи и передает их в сервер начисления платы.

Одним из элементов модуля *P-CSCF* является *Policy Decision Function (PDF)* – функция выбора политики, оперирующая с характеристиками трафика, такими как требуемая для его обслуживания пропускная способность, параметры ограничения поступающего трафика и т.д.

Функция I-CSCF создает первую контактную точку внутри ядра IMS для всех внешних соединений с абонентами данной сети или с абонентами из других сетей, временно находящимися в данной сети. Основная задача модуля *I-CSCF* – идентификация запрашиваемых внешними абонентами услуг, выбор соответствующего сервера приложений и обеспечение доступа к этому серверу.

Еще один ключевой элемент архитектуры IMS – сервер *HSS (Home Subscriber Server)*. По сути, *HSS* представляет собой централизованное хранилище информации об абонентах и услугах и является эволюционным развитием *HLR* и *AuC*, рассмотренных в предыдущих лекциях этой части. В *HSS* хранится вся информация, которая может понадобиться при установлении мультимедийного сеанса: информация о местонахождении пользователя, информация для обеспечения безопасности (аутентификация и авторизация), информация о пользовательских профилях, об обслуживающей пользователя *S-CSCF* и о триггерных точках обращения к услугам.

Взаимодействие сервера *HSS* с другими элементами платформы IMS показано на рис. 20.3. Платформа IMS является первой стандартной архитектурой, которая поддерживает открытые интерфейсы ко всем данным абонента. Наличие открытых интерфейсов позволяет разным серверам приложений совместно использовать информацию об абоненте, например, такую как статус присутствия.

Введение сервера *HSS* является основным отличием архитектуры IMS от более ранних вариантов архитектуры предоставления услуг СПС. Именно этот сервер создает возможности развертывания новых услуг на базе архитектуры IMS.

Сеть может содержать более одного *HSS* в том случае, если количество абонентов слишком велико, чтобы поддерживаться одним *HSS*. Такая сеть, наряду с несколькими *HSS*, должна будет иметь в своем составе функцию *SLF (Subscriber Location Function)*, представляющую собой простую базу данных, которая хранит данные о соответствии информации *HSS* адресам пользователей.

Узел, передавший к *SLF* запрос с адресом пользователя, получает от нее сведения о том *HSS*, который содержит информацию об этом пользователе. Как *HSS*, так и *SLF* используют для взаимодействия с прочими элементами IMS протокол *Diameter*.

Еще два функциональных модуля на плоскости управления обеспечивают управление мультимедийными информационными потоками.

Первый из этих модулей – процессор мультимедийных ресурсов *MSFP (Multimedia Resource Function Processor)* – выполняет группу функций, необходимых для поддержки мультимедийных сеансов, в том числе конфигурирование ресурсов, смешивание разных медиа-потоков (например, от нескольких абонентов), генерацию мультимедийных объявлений, обработку мультимедийных потоков.

Второй, связанный с первым, модуль *MSFC (Media Resource Function Controller)* – контроллер функции мультимедийных ресурсов – анализирует информацию, приходящую из AS и S-CSCF, и, соответственно, управляет информационными потоками в MSFP.

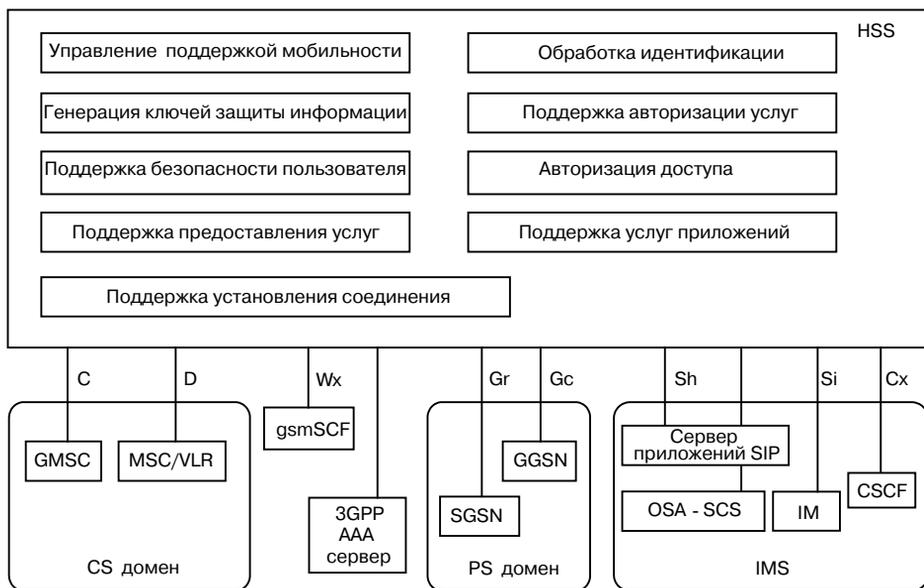


Рис. 20.3. Логические функции HSS и его связь с другими элементами платформы IMS

Функция *BGCF (Breakout Gateway Control Function)* – функция управления шлюзами – управляет пересылкой вызовов между доменом коммутации каналов (ТФОП или СПС) и сетью IMS.

Этот модуль осуществляет маршрутизацию на основе телефонных номеров и выбирает шлюз в домене коммутации каналов (CS), через который сеть IMS (где расположен сервер BGCF) будет взаимодействовать с сетями ТФОП или GSM. Здесь же производится генерация соответствующих учетных записей для начисления платы абонентам сетей с CS.

Функция *MGCF (Media Gateway Control Function)* – функция управления шлюзами, обеспечивает преобразование протокола ISUP и протоколов управления соединениями в подсистеме IMS.

Кроме того, этот модуль обеспечивает управление соединениями в шлюзах IMS, которые терминируют потоки из доменов CS и PS.

Функция *IBCF (Interconnect Border Control Function)* обеспечивает полную управляемость на границе между сетями разных провайдеров. Она выполняет согласование IPv4 и IPv6, может, в случае необходимости, обращаться к функции IWF, может управлять доступом и назначать полосу пропускания в соответствии с собственной политикой, или обращаясь к подсистеме RACS.

Функция *IWF (Inter-Working Function)* обеспечивает взаимодействие протокола SIP сети IMS с сигнальными протоколами IP-сетей других провайдеров, такими как H.323 или другие реализации SIP.

Функция *I-BGF (Interconnect Border Gateway Function)* управляет передачей данных 3 и 4 уровней через границу сетей разных провайдеров. Эта функция играет роль межсетевое экрана, защищает ядро сети провайдера, фильтруя пакеты на основании информации плоскости медиашлюзов и доступа. Опциональными возможностями I-BGF являются: маркировка трафика в целях обеспечения QoS, политика управления шириной полосы пропускания и объемом сигнальной информации, измерение нагрузки ресурсов и определение параметров QoS.

В заключение рассмотрим *MRF (Media Resource Function)*, являющуюся источником медиаинформации в домашней сети и позволяющую воспроизводить разные приветствия и объявления, смешивать медиапотоки, транскодировать битовые потоки кодеков, получать статистические данные и анализировать медиаинформацию. Функция MRF делится на две части:

- *MRFC – Media Resource Function Controller*
- *MRFP – Media Resource Function Processor*

MRFC взаимодействует с S-CSCF по протоколу SIP. Используя полученные инструкции, MRFC управляет по протоколу MEGACO/H.248 процессором MRFP, находящимся на плоскости медиашлюзов и доступа, а тот выполняет все манипуляции с медиаинформацией. Сама MRF всегда находится в домашней сети.

20.7. Плоскость приложений (услуг)

Верхний уровень эталонной архитектуры IMS содержит набор серверов приложений, которые, в принципе, не являются элементами IMS. Эти элементы верхней плоскости включают в свой состав как мультимедийные IP-приложения, базирующиеся на протоколе SIP, так и приложения, реализуемые в мобильных сетях на базе виртуальной домашней среды.

Еще один элемент плоскости приложений – *сервис-брокер SCIM (Service Capability Interaction Manager)*, обеспечивающий управление взаимодействием плоскости приложений и ядра IMS.

Серверы приложений могут быть очень разными, но в IMS принято выделять три типа серверов:

- *SIP AS (SIP Application Server)* – классический сервер приложений, предоставляющий мультимедийные услуги на базе протокола SIP;
- *OSA-SCS (Open Service Access – Service Capability Server)* предоставляет интерфейс к серверу приложений OSA и функционирует как сервер приложений со стороны S-CSCF и как интерфейс между сервером приложений OSA и OSA API – с другой стороны;
- *IM-SSF (IP Multimedia Service Switching Function)* позволяет использовать в IMS услуги CAMEL, разработанные для сетей GSM, а также позволяет управляющей функции *gsmSCF (GSM Service Control Function)* управлять IMS-сеансом. Со стороны S-CSCF сервер IM-SSF функционирует как сервер приложений, а с другой стороны – как функция *SSF (Service Switching Function)*, которая взаимодействует с *gsmSCF* по протоколу CAP, упоминавшемуся в лекции 17.

Помимо обязательного для всех серверов приложений SIP-интерфейса со стороны IMS, они могут также иметь интерфейсы к HSS, причем SIP AS и OSA-SCS взаимодействуют с HSS по протоколу Diameter для получения данных о пользователе или для обновления этих данных в HSS, а информационный обмен между IM SSF и HSS ведется по протоколу MAP, рассмотренному в лекции 14.

Серверы приложений могут находиться либо в домашней, либо в любой другой сети, с которой у провайдера есть сервисное соглашение, но в последнем случае прямого интерфейса с HSS не предусматривается.



Ключевые слова: коммуникации «человек-человек», «человек-машина» и «машина-машина», FMC, технология LTE, системы MIMO, технология OFDM, технология SDR, концепция IMS, услуги присутствия Presence, услуга Instant Messaging, комитет TISPA, функция управления CSCF, сервер HSS, процессор MSFP, контроллер MSFC, функция управления шлюзами BGCF, плоскость услуг, сервис-брокер SCIM.



Контрольные вопросы

1. Будущее развитие мобильной связи:
 - a) переход к 3G, 4G, 5G,
 - b) конвергенция ТФОП и СПС,
 - c) переход к IMS,
 - d) все эти три тенденции.
2. С чем Вы согласны, а с чем не согласны в прогнозах табл. 20.1?
3. Как Вы понимаете концепцию IMS? Что означает понятие подсистема в IMS?
4. Покажите основные фазы эволюции спецификаций IMS.
5. Какие функции содержит плоскость управления IMS?
6. Чем управляет функция BGCF?
7. Опишите плоскость приложений в концепции IMS.



Задачи и упражнения

1. Разработайте перечень интерфейсов HSS. Покажите общие элементы и различия HSS и HLR.



Литература к лекции 20

- 20.1. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. SOFTSWITCH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006.

Часть 3
Сети
документальной
электросвязи

Лекция 21

Эволюция сетей передачи данных

*Прогресс – это лучшее, а не только новое.
Лопе де Вега*

21.1. Принципы коммутации пакетов

Прогресс вычислительной техники породил новый вид электро-связи – передачу данных. В начале развития передачи данных (конец 60-х годов прошлого столетия) и примерно в течение 25 лет объем трафика данных составлял не более одного – двух процентов трафика телефонных сетей. Однако в середине 90-х годов ситуация начала изменяться, мировой трафик данных стал расти достаточно быстро, и в последние годы объем трафика данных удваивается каждые два года.

Говоря о росте трафика данных, мы подразумеваем всю совокупность трафика, первоначально обслуживавшегося специализированными сетями передачи данных, которые называются более строго в образовательном стандарте (и, следовательно, – в этой книге) сетями документальной электросвязи (СДЭ), а в переводной литературе – компьютерными сетями. Не вдаваясь в детали, все три приведенных термина мы будем считать синонимами.

Широкое разнообразие услуг передачи данных в сетях документальной электросвязи, в отличие от рассмотренного в предыдущих лекциях речевого обмена, требует применения принципиально другого механизма доставки информации, в отличие от принятого в телефонных сетях метода коммутации каналов.

Этот механизм должен быть адаптирован не только к разнообразию типов данных и услуг, но и к пачечной структуре трафика, что является характерной чертой СДЭ. Названные фундаментальные различия определили два принципиально разных вида сетей:

- *сети с коммутацией каналов*, по которым передаются непрерывные потоки информации с постоянной скоростью, как правило, равной 64 кбит/с;
- *сети с коммутацией пакетов* с пачечной структурой трафика, передаваемые в широком диапазоне скоростей, начиная от сотен бит/с вплоть до десятков Мбит/с.

В первых десяти лекциях этой книги (и, частично, в следующих десяти лекциях) рассматривались процессы транспортировки речевых сигналов между станциями в телефонных сетях. Основным свойством таких сетей является использование принципа коммутации каналов, в основе которого лежит закрепление канальных ресурсов за общающимися терминалами на все время сеанса связи, независимо от его длительности. Такое закрепление ресурсов может приводить при определенных условиях к перегрузкам и, как следствие, к отказам или к ощутимым задержкам в обслуживании. К счастью для абонентов, фиксированные телефонные сети проектируются так, что практически никогда не используется их пропускная способность, рассчитанная на периоды наибольшей нагрузки. Но, с другой стороны, такие сети не эффективны при передаче данных. Альтернативный подход к построению сети базируется на принципе коммутации пакетов. Техника *коммутации пакетов*, развитая в 70-х годах прошлого столетия, основана на разделении полезной нагрузки (сообщений, подлежащих передаче) на множество пакетов или ячеек. Перед передачей к пункту назначения каждый пакет дополняется *заголовком* (служебная часть содержимого пакета). В заголовке пакета указываются его порядковый номер и адрес пункта назначения, а также другая сигнальная информация. Хотя заголовок не переносит полезную нагрузку и рассматривается при передаче данных как разновидность накладных расходов, но без служебной информации пакет не может передаваться по сети. Последовательность пакетов, принадлежащих одному сообщению, определяется как *логический канал*. Базируясь на понятии логических каналов, можно говорить о том, что коммутация пакетов делает возможной организацию определенного количества логических каналов в одной линии передачи. Если N пакетов, соответствующих разным пунктам назначения, передаются по одной линии, это означает, что в такой линии существует одновременно N логических каналов. При достижении очередного узла сети пакеты вначале накапливаются, а затем поступают в *коммутатор пакетов*.

Коммутатор считывает адрес пункта назначения из заголовка пакета и направляет пакет к следующему узлу в соответствии с выбранным *маршрутом* и правилами приоритетного обслуживания трафика.

Оптимальный маршрут соответствует определенному критерию, например, минимуму числа коммутационных узлов, минимальной сетевой задержке, максимально возможной пропускной способности выбранного маршрута и так далее. Если, например, соседний узел, выбранный по определенному критерию, в данный момент занят, маршрут может быть изменен путем выбора более длинного пути. Такой процесс коммутации определяется как процесс накопления и передачи. Функция накопления пакетов, или *буферизация*, является весьма полезной для решения проблем, возникающих при одновременном поступлении пакетов в коммутатор пакетов. В общем случае поступающие пакеты обслуживаются в соответствии с правилом *FIFO* (*первым пришел, первым обслужен*), если в буфере отсутствуют пакеты, поступившие по логическим каналам с разными предварительно назначенными уровнями приоритета.

Рис. 21.1 иллюстрирует принципы сети с коммутацией пакетов. Одним из наиболее важных свойств такой сети, как следует из рисунка, является то, что пакеты одного сообщения могут прибывать в пункт назначения в случайном порядке из-за разных маршрутов их доставки и задержек в накопителях узлов. Для восстановления требуемого порядка пакетов в соответствии с их номерами, полученными в пункте отправления, в пункте назначения предусмотрена возможность буферизации.

Сеть, в которой пакеты одного логического канала на пути к пункту назначения проходят через разные пути, называется *сетью, не ориентированной на соединения*. В такой сети реализуется маршрутизация, известная как *маршрутизация датаграмм*, и соответствующий режим транспортировки пакетов получил название *датаграммного режима*. В сетях такого типа возможны потери пакетов в процессе транспортировки по ряду причин (например, из-за перегрузки коммутаторов или из-за ошибок маршрутизации). В этом случае в пункте назначения имеется возможность послать запрос повторить передачу потерянных пакетов. Альтернативный подход к построению сетей с коммутацией пакетов состоит в выделении одного и того же пути для последовательности пакетов, связанной с одним и тем же логическим каналом. Тогда пакеты достигают пункта назначения в правильном порядке, в соответствии с их номерами. Такие сети называются *сетями, ориентированными на соединения*; в сети реализуется путь-ориентированная маршрутизация, а путь передачи пакетов одного сообщения называется *виртуальным каналом*. Важно отметить, что метод виртуальных каналов не должен рассматриваться как полный аналог коммутации каналов, поскольку

путь для последовательности пакетов формируется на базе выделения памяти в узлах коммутации, а не за счет резервирования всех ресурсов между источником и получателем.

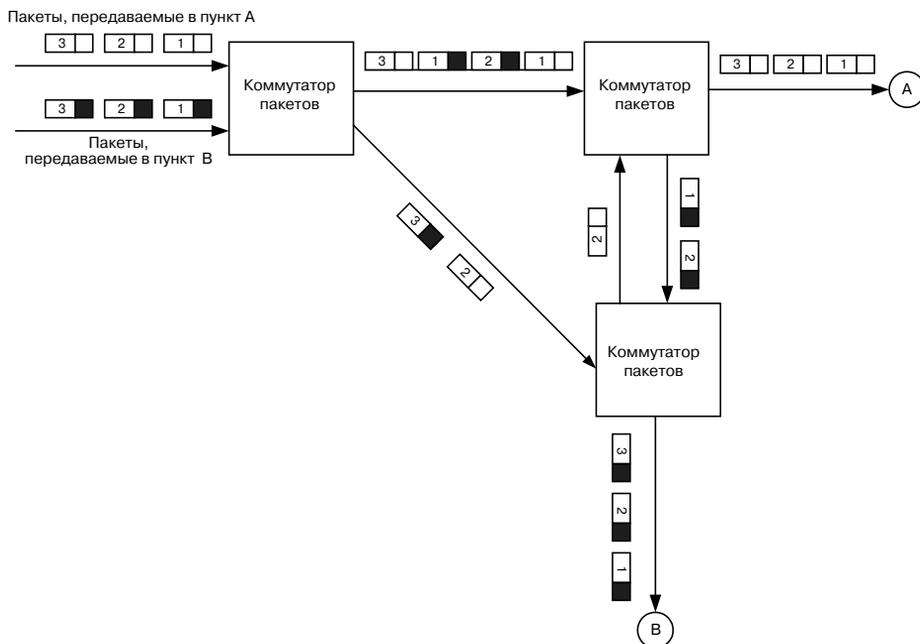


Рис. 21.1. Иллюстрация принципа коммутации пакетов

Достоинством сетей, ориентированных на соединения, является возможность управления потоком пакетов, что обеспечивает более высокие показатели качества обслуживания. Среди недостатков путь-ориентированной маршрутизации необходимо отметить менее полное, по сравнению с маршрутизацией датаграмм, использование сетевого ресурса.

Сети с коммутацией пакетов могут быть использованы для передачи данных и речи в сетях всех типов, начиная с *локальных сетей (Local Area Network, LAN)* и кончая *крупномасштабными городскими (Metropolitan Area Network, MAN)* и *территориально распределенными сетями (Wide Area Networks, WAN)*.

Для реализации процессов транспортировки в таких сетях должны быть определены специальные протоколы, в которых описываются правила инициирования вызовов, установления логических соединений и обмена данными между элементами сетей.

Известны четыре наиболее широко используемых протокола для передачи информации в сетях с коммутацией пакетов – протокол X.25, протокол Frame Relay, протокол ATM и протокол IP. Эти протоколы будут описаны в следующих лекциях.

21.2. История создания компьютерных сетей

История компьютерных сетей начиналась в Агентстве перспективных исследовательских проектов, созданном в 1958 году в Вашингтоне под эгидой Министерства обороны США. Это Агентство известно в компьютерном и телекоммуникационном сообществе, независимо от используемого языка, под названием *ARPA (Advanced Research Projects Agency)*. В середине 60-х годов прошлого столетия проблемами связи между удаленными компьютерами активно занимались и специалисты из Национальной физической лаборатории (NPL) в Англии. Коллективы из ARPA и NPL пришли к примерно одинаковым результатам в отношении формы представления сообщений при передаче их между компьютерами: сообщения должны быть разделены на стандартные блоки определенного формата, включающего в себя заголовок и признак конца блока.

Разработка принципа связи, позже названного коммутацией пакетов, связана с именами П. Бэрена (ARPA) и Д. Дэвиса (NPL). Вместе с тем, работы американских специалистов из ARPA и английских исследователей из NPL привели к развитию двух методов коммутации пакетов – *метода датаграмм* (Бэрэн) и *метода виртуальных соединений* (Дэвис). Режим виртуальных соединений предполагает резервирование ресурса (пусть даже виртуального) на время сеанса связи и, в какой-то степени, напоминает метод коммутации каналов, применяемый в классических телефонных сетях. Наличие резервированного ресурса позволяет гарантировать определенный уровень качества обслуживания и, естественно, подходит для применения в сетях общего пользования. Метод коммутации пакетов, предложенный Дэвисом, был стандартизован Международным союзом электросвязи (ITU) в 1976 году в виде Рекомендации X.25 и рекомендован ITU для сетей передачи данных общего пользования. На базе протокола X.25 во многих странах, где связь была монополией государства, построили значительное число сетей передачи данных (ПД), как общего пользования, так и корпоративных.

В методе датаграмм Бэрена, тоже основанном на коммутации пакетов, отсутствовал принцип резервирования ресурсов, то есть он не обеспечивал гарантированное качество обслуживания и не мог быть применен в сетях ПД общего пользования. Главным его достоинством была простота механизма передачи пакетов. Метод передачи датаграмм был положен в основу *протокола IP (Internet Protocol)* и успешно использован при построении сети ARPANET и ряда других корпоративных сетей, в основном, в университетских и исследовательских структурах.

Днем рождения компьютерных сетей можно считать 2 сентября 1969 года, когда был осуществлен обмен сообщениями между двумя компьютерами ARPA; один из компьютеров был установлен

в Калифорнийском университете Лос-Анджелеса, а второй – в Стенфордском исследовательском институте. К концу 1969 года уже четыре компьютера были объединены каналами со скоростью передачи 56 кбит/с.

В 1974 году в статье В. Серфа и Р. Кана, посвященной *протоколу транспортного уровня (Transmission Control Protocol, TCP)*, впервые был использован термин «Internet». В следующем году группа В. Серфа и Р. Кана разработала спецификации стека протоколов TCP/IP. Впоследствии термин «Интернет» широко использовался для определения сетей, базировавшихся на стеке протоколов TCP/IP; при этом сеть ARPANET всегда рассматривалась как родоначальница всех последующих сетей Интернет.

Стартовавшая как ARPANET, сеть Интернет на протяжении 70-х и начала 80-х годов использовалась преимущественно американским правительством, а также академическими и исследовательскими организациями. Технология Интернет применялась для строительства академических сетей и в ряде европейских стран. Однако сети на базе технологии Интернет как часть телекоммуникационной инфраструктуры все еще оставались в относительно узкой нише приложений, не будучи востребованными в среде Операторов общего пользования и уступая по масштабам сетям X.25. Эта ситуация сохранялась до середины 90-х годов, когда появились первые удобные пользователю приложения в среде Интернет, в том числе, такие как системы поиска информации Mosaic, World Wide Web (WWW), гипертекстовый язык HTML. Были разработаны недорогие модемы для подключения абонентов квартирного сектора к компьютерным сетям и созданы высокоскоростные магистрали, способные пропускать трафик со скоростями несколько сот Мбит/с.

В середине 1995 года на рынке появилась операционная система Windows 95 с интегрированным стеком TCP/IP, и услуги Интернет стали доступны многим миллионам пользователей. Сегодня сеть Интернет представляет собой всемирную систему добровольно объединенных компьютерных сетей, построенных на стеке протоколов TCP/IP. Начиная с середины 90-х годов прошлого столетия, развитие сетей Интернет напоминает взрывоподобный процесс.

К середине 2008 года число пользователей Интернет в мире достигло 1,2 миллиарда, что очень близко к числу абонентов фиксированных телефонных сетей, история развития которых насчитывает более 120 лет. Пропускная способность глобальной сети Интернет, измеренная в битах за секунду, превышает суммарную пропускную способность глобальной телефонной сети в десятки раз.

Сегодня через сеть Интернет доставляются не только данные, ради передачи которых и были построены первые компьютерные сети, но также речевая информация и видео.

21.3. Модель взаимосвязи открытых систем

Прежде чем перейти к характеристике протоколов, на базе которых построены сети передачи данных, рассмотрим модель взаимосвязи открытых систем, содержащую набор стандартных уровней, определяющих процессы транспортировки и обработки информации в современных телекоммуникационных сетях. В начале 80-х годов прошлого столетия Международная организация по стандартизации ISO (International Standardization Organization) в сотрудничестве с ITU начала разработку нового стандарта в области технологий для компьютерных сетей, получившего в русском языке название *Взаимосвязи Открытых Систем (ВОС)*, а в английском языке – *Open Systems Interconnection (OSI)*.

В основе стандарта OSI, в результате разработки которого была создана *эталонная модель OSI*, лежала идея построения общей модели расположенных на разных уровнях протоколов, которые соответствуют основным процессам в компьютерных сетях и определяют взаимодействие между этими уровнями в различных системах. Стандарт OSI был принят в 1982 году и, по существу, принятие такого стандарта означало создание сетевых стандартов для обеспечения совместимости оборудования разных производителей. Следует отметить, что после принятия стандарта OSI все работы по стандартизации протоколов взял на себя ITU. Эталонная модель OSI определяет процессы в компьютерных сетях через стандартный набор уровней, число которых в документах ISO было выбранным равным семи. Эти семь уровней представлены на рис. 21.2. Они формируют модель, в соответствии с которой разные сетевые функции могут быть реализованы в иерархической форме и в нужной последовательности.

На верхнем уровне модели расположен уровень приложений. Этот уровень является первым между оборудованием пользователя (например, компьютером) и оборудованием сети, поскольку этот уровень оперирует с содержанием информации, которая должна быть передана от пункта отправления к пункту назначения.

Нижний, физический уровень, где данные генерируются в электрической или оптической форме, наиболее удален от пользователя. Каждый уровень реализует свой набор функций с тем, чтобы представить данные на следующий уровень. При передаче терминал реализует процессы сверху вниз, начиная от уровня приложений (формирование содержания сообщения, например, подготовка электронной почты) и заканчивая генерацией «единиц» и «нулей». Приемный терминал реализует процессы снизу вверх, начиная с детектирования «единиц» и «нулей», заканчивая выводом информации на уровне приложений (вывод на экран компьютера, вывод на печать и так далее).

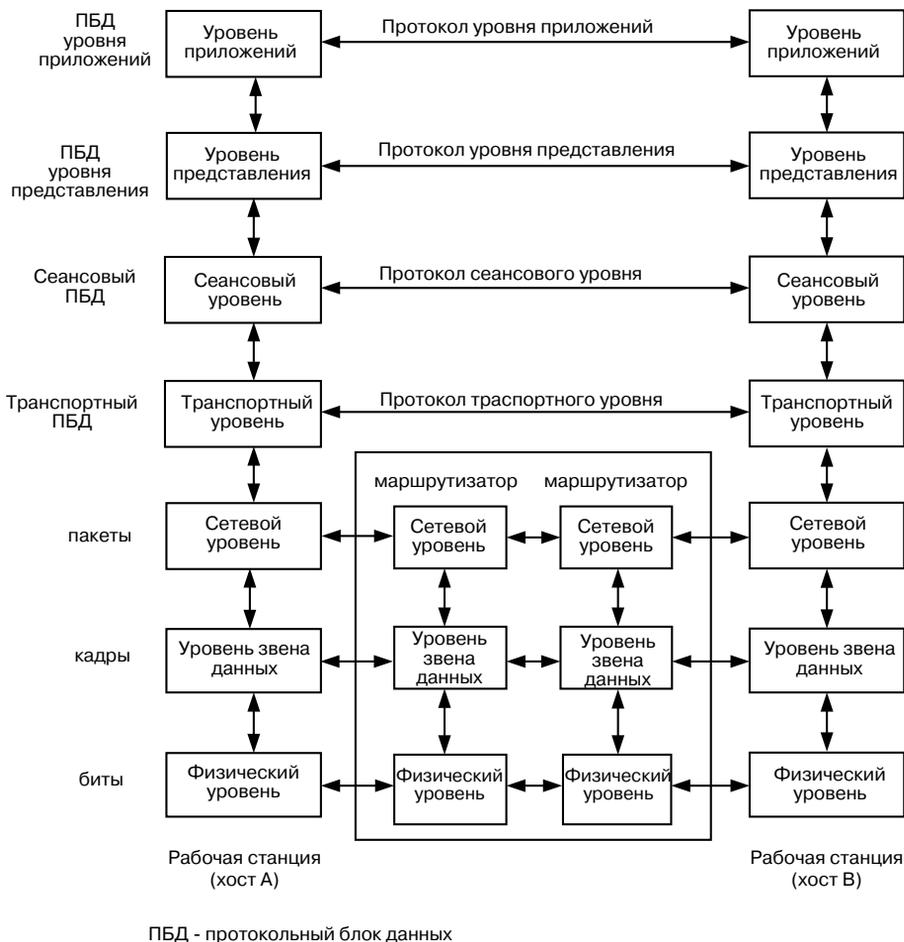


Рис. 21.2. Эталонная модель OSI

Рассмотрим более детально функции разных уровней модели OSI.

Физический уровень (уровень 1) преобразует электрические (оптические) сигналы в стандартную форму с определенными значениями напряжения, частот и длин волн. Для обмена информацией на уровне 1 имеется ряд стандартов ITU-T, используемых для передачи речи и данных: E1, T1, SDH, а также относительно новые протоколы, такие, как xDSL и WDM.

Уровень звена данных (уровень 2) поддерживает управление потоками данных, обнаружение и исправление ошибок и мультиплексирование логических каналов. На втором уровне пакеты преобразуются в кадры, размер которых существенно меньше размера пакетов. В то время как пакеты содержат адрес пункта назначения,

кадр на уровне 2 включает в свой состав маршрутный адрес соседнего коммутатора, к которому должен быть послан этот кадр. Кадры фланкируются на обоих концах флагами, используемыми как разделители кадров. Структура байтов флагов выбирается таким образом, чтобы она не повторялась в оставшейся части кадра. На уровне 2 используются, в частности, такие протоколы, как Frame Relay, Ethernet, маркерные протоколы (Token bus, Token ring) и протокол ATM (Asynchronous Transfer Mode).

Сетевой уровень (уровень 3) связан с функциями маршрутизации (выбор наиболее быстрого пути) и борьбы с перегрузками (минимизация задержек в очередях коммутаторов). Маршрутизация может быть статической или динамической. Статическая маршрутизация базируется на принципе минимального числа узлов на маршруте (минимальное число скачков), в то время как динамическая маршрутизация выбирает наилучший путь в соответствии с реальными данными о нагрузке в сети. Этот принцип может быть реализован путем анализа маршрутных таблиц, которыми коммутаторы обмениваются друг с другом. Такие таблицы обеспечивают узлы информацией о нагрузке на каждом коммутационном узле, доступности портов коммутатора и возможных перегрузках. Примерами протоколов для уровня 3 являются протоколы X.25 и IP. Следующие четыре уровня реализуют функции взаимодействия сетей. При рассмотрении этой группы логически целесообразно рассматривать характеристики уровней, начиная с уровня 7 по направлению к уровню 4.

Уровень приложений (уровень 7) оперирует со смысловым содержанием данных, передаваемых или получаемых компьютерным терминалом. Примерами таких «смысловых» приложений являются подключение к Web-сайтам и электронная почта. Использование протокола пересылки гипертекстовых файлов HTTP (Hypertext File Transfer Protocol) и простого протокола пересылки почты SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) обеспечивает возможность передачи сообщений через мировую компьютерную сеть, независимо от того, как сконфигурирован компьютер и к каким интерфейсам он подключен. Другие широко используемые приложения уровня 7 включают в свой состав корпоративные сети Интранет, удаленный доступ к базам данных (например, по протоколу X.500 ITU-T), а также управление сетями, необходимое для системных администраторов.

Уровень представления (уровень 6) определяет формат кода, который используется для кодировки информации, поступающей с уровня 7 (режим передачи), или для детектирования информации, поступающей с уровня 5 (режим приема). Наиболее популярным кодом на уровне 6 является код ASCII (American Standard Code for Information Exchange). На этом же уровне может быть реализована процедура защиты данных. Кроме того, возможна реализация

алгоритмов сжатия информации, что особенно важно при передаче изображений и видеoinформации. Наиболее популярными для этих целей являются, соответственно, стандарты JPEG (Joint Photographic Expert Group) и MPEG (Moving Pictures Expert Group).

Уровень сеанса (уровень 5) управляет открытием, поддержкой и закрытием сессий. Понятие сессии наиболее хорошо знакомо пользователям персональных компьютеров, поскольку оно связано со всем тем, что может произойти между вызовом и закрытием определенной программы. Примером сессии является подключение к сети Интернет, во время которого могут быть удовлетворены запросы всех видов (Web-поиск, загрузка файлов, отправка почтовой корреспонденции).

Транспортный уровень (уровень 4) обеспечивает коррекцию ошибок и управление потоками, в целом отвечая за качество передачи. Уровень 4 поддерживает также возможности выбора между разными сетевыми конфигурациями (WAN, LAN, ТфОП...), используя сетевую адресацию. Транспортный уровень принимает от уровня 5 запросы обслуживания нескольких одновременных сессий или поддерживает одиночную сессию, обрабатываемую одновременно сетями разных типов.

21.4. Стандартизация в сетях Интернет

Параллельно стандартизации сетей общего пользования с коммутацией пакетов, реализуемой под эгидой ИТУ, проводились работы по стандартизации сетей Интернет. Основной массив спецификаций для сетей, построенных на базе стека TCP/IP, был разработан организацией IETF (Internet Engineering Task Force).

Организация IETF была создана в 1986 году и финансировалась Правительством США. В начале 90-х годов XX века IETF изменила свой статус, перейдя от государственного финансирования к формату независимой организации, работающей под эгидой Internet Society (ISOC) – Общества Интернет, представляющего собой неправительственную некоммерческую организацию. В состав ISOC входят более 100 организаций (производителей оборудования, поставщиков услуг, организаций, занимающихся стандартизацией) и более 20 тысяч индивидуальных членов в 180 странах.

Спецификации, выпускаемые IETF, издаются под общим названием *RFC (Request for Comments* – Запрос комментариев) и признаны сегодня в качестве международных стандартов. Первый документ RFC, написанный студентом Калифорнийского университета, появился в 1969 году при обсуждении проекта ARPANET. Вначале RFC распространялись в виде обычных писем, но уже с декабря 1969 года RFC начали рассылаться в электронном виде.

Общее число RFC в настоящее время насчитывает более 6 тысяч документов. Доступ к документам RFC открыт для любого желающего на сайте www.ietf.org. Среди большого количества документов RFC самыми популярными являются RFC, относящиеся к сетевому протоколу IP (RFC 791), транспортным протоколам TCP (RFC 793) и UDP (RFC 791), протоколу транспортировки электронной почты (RFC 822), архитектуре MPLS (RFC 3031). Как известно, физики всегда были остроумнее, чем лирики. Это справедливо и для Интернет-сообщества, в котором очень популярны юмористические документы RFC. Так, существует традиция выпуска первоапрельских шуточных RFC, например, RFC 1149 повествует о передаче пакетов IP с помощью почтовых голубей.



Ключевые слова: коммутация каналов, коммутация пакетов, коммутатор пакетов, маршрутизация, датаграмма, сеть, не ориентированная на соединения, сеть, ориентированная на соединения, ITU, эталонная модель OSI, IETF, RFC.



Контрольные вопросы

1. В чем основное различие принципов коммутации каналов и коммутации пакетов?
2. Поясните понятия «сеть, ориентированная на соединения» и «сеть, не ориентированная на соединения».
3. Какой была цель введения эталонной модели OSI?
4. В чем разница между протоколом и процессом?
5. Дайте характеристику уровней эталонной модели OSI.
6. Поясните роль Комитета IETF.
7. Что такое RFC?



Задачи и упражнения

1. Число уровней эталонной модели ВОС было выбрано равным семи. Докажите правомерность этого решения или попробуйте его опровергнуть.
2. В 2001 году глобальная сеть Интернет обеспечивала обработку всего трафика при суммарной пропускной способности магистральной сети, равной 1 Тбит/с. Рассчитайте пропускную способность сети Интернет, которая потребуется в 2010 году, учитывая, что трафик данных растет в год примерно на 50%.



Литература к лекции 21

21.1. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2005. – 992 с.

Лекция 22

Сети на базе виртуальных соединений

*Компромисс всегда обходится дороже, чем любая из альтернатив.
Закон Джухени*

22.1. Сети на базе протокола X.25

В этой лекции рассматриваются сетевые технологии на базе виртуальных каналов, являющиеся, в той или иной степени, компромиссом между сетями с коммутацией каналов и с коммутацией пакетов. Прежде всего это относится к сетям АТМ, но рассмотрение мы начнем со старейшей технологии X.25.

Сети с коммутацией пакетов (КП) на базе протокола X.25 были разработаны в середине – конце 1970-х годов с целью обеспечить передачу данных между двумя удаленными пунктами через аналоговую передающую среду. Основной сферой их использования была связь между терминалами и рабочими компьютерами (хостами). Протокол X.25, разработанный в ИТУ-Т, обеспечивает передачу пакетов через сеть, являясь протоколом третьего (сетевого) уровня модели ВОС. Фрагмент сети X.25, включающий в себя различные сетевые элементы сети КП, представлен на рис. 22.1.

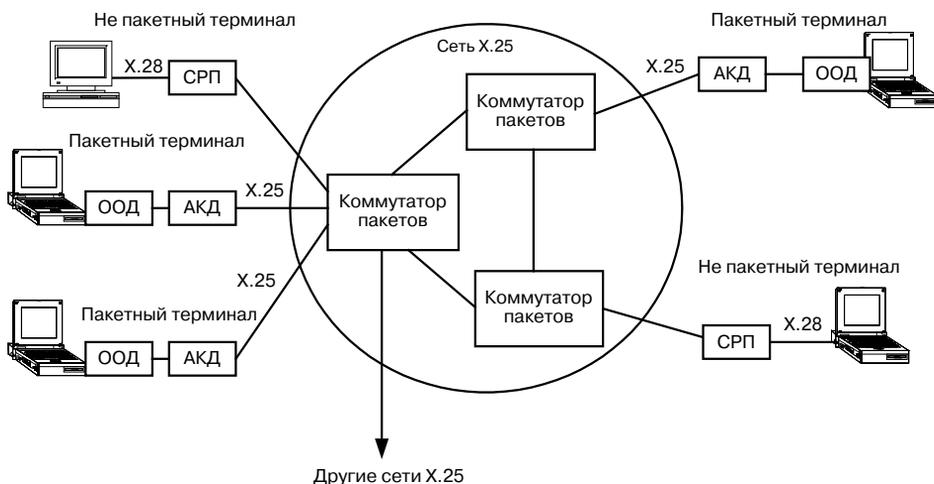


Рис. 22.1. Фрагмент сети X.25

В сети на базе протокола X.25 устанавливаются *виртуальные соединения* между *оконечным оборудованием данных (ООД)* разных пользователей, то есть *технология X.25 является технологией, ориентированной на соединения.*

Режим *виртуальных соединений* характеризуется тем, что между терминалами абонентов сети не создается физическое соединение, а организуется виртуальный канал путем резервирования памяти во всех узлах сети, расположенных на пути от одного терминала к другому. При этом виртуальные каналы могут быть *коммутируемыми* (Switched Virtual Circuit, SVC), как в ТФОП, или *постоянными* (Permanent Virtual Circuit, PVC), аналогично выделенным или арендованным каналам.

В протоколе X.25 задача сохранения целостности сообщений возлагалась на сеть, что достигалось путем применения помехоустойчивых кодов, запросов и повторений пакетов между узлами сети.

Соединение между ООД и *аппаратурой канала данных (АКД)*, выполняющей функции шлюза сети КП, обеспечивают три нижних уровня модели ВОС, а именно, уровни: физический (1), звена данных (2) и сетевой (3).

Протокол, определяющий процедуру доступа на уровнях (1) и (2), называется *процедурой доступа к звену* (link access procedure, LAP). На уровне звена данных обмен между ООД и АКД происходит на основе протокола HDLC (High-level Data Link Protocol) с помощью протокольных блоков, называемых кадрами.

Длина кадров может варьироваться, однако рекомендованная длина выбирается в пределах 128 – 256 байтов. Отметим, что функции ООД реализуются в терминале абонента, а функции АКД обычно выполняются модемом. На рис. 22.2 показана структура кадра одного из типов – информационного, предназначенного для транспортировки полезной нагрузки.

В состав информационного кадра входят служебные поля и поле полезной нагрузки. Служебные поля располагаются в начале и в конце кадра. Отношение длин служебных полей к общей длине кадра определяет в процентах избыточность протокольного блока.



Рис. 22.2. Формат информационного кадра в протоколе X.25

Каждый кадр отделяется от другого кадра с помощью флага. Затем идет двухбайтовый заголовок, содержащий байт адреса и байт управления. Адресный байт определяет, является ли кадр командой (между ООД и АКД) или откликом.

Эта информация позволяет интерпретировать байт управления. Имеются три типа байтов управления: информационные (только команды) – для кадров, переносящих полезную информацию; супервизорные (только команды), содержащие инструкции управления звеном данных; нумерованные (команды/отклики), используемые для дополнительных функций управления. Проверочная последовательность (2 байта) формируется в соответствии с правилами кодирования циклических кодов.

Поле полезной нагрузки имеется только в информационных кадрах. В этом поле располагаются данные, поступающие с третьего сетевого уровня.

Задача сетевого уровня состоит в передаче протокольных блоков, получивших название *пакетов*. Рекомендация X.25 определяет более 20 типов пакетов, выполняющих как служебные функции, так и функции переноса полезной информации. Из общего числа возможных форматов пакетов только три используются для переноса полезной нагрузки. На рис. 22.3 приведен пример пакета для транспортировки данных.

При установлении в сети ПД виртуального соединения или постоянного виртуального канала на стыке ООД – АКД создается *логический канал*, которому присваивается групповой номер

(ГНЛК), меньший или равный 15, и номер самого канала (НЛК), меньший или равный 255. Таким образом, теоретически в одном физическом канале можно организовать до 4095 логических каналов.

Номера ГНЛК и НЛК присваиваются виртуальному соединению в фазе его установления и сохраняются за ним в течение фаз обмена данными и завершения обмена.



ИОФ - идентификатор общего формата;

ГНЛК - групповой номер логического канала;

НЛК - номер логического канала в группе;

P(R), P(S) - номера принимаемого и передаваемого пакетов;

M - символ «Продолжение данных»

Рис. 22.3. Формат пакета данных

Номера ГНЛК и НЛК служат идентификаторами логического канала. Поле данных (полезной нагрузки) пакета содержит информационные данные, максимальный объем которых не превышает 1кбайт.

Оборудование ООД представляет собой устройство, работающее в пакетном режиме, то есть на выходе ООД формируются пакеты для передачи и поступают пакеты в режиме приема. Вместе с тем, имеется возможность подключения низкоскоростных не пакетных устройств для асинхронного соединения с сетью X.25. В этом случае необходимо использовать концентратор, называемый *сборщиком/разборщиком пакетов*, СРП (*Packet Assembler/Disassembler, PAD*). Как следует из названия, СРП подготавливает и распаковывает кадры X.25 от/к асинхронным терминалам (смотри рис. 22.1).

Протокол X.28 определяет процедуры обмена между асинхронными терминалами и устройством СРП. Протокол, обеспечивающий взаимодействие СРП и удаленного ООД, известен как протокол X.29.

Коммутатор одной сети X.25 может быть соединен с коммутатором другой сети X.25 через интерфейс X.75.

Одним из главных достоинств протокола X.25 является возможность подключения относительно большого числа терминалов к коммутатору путем разделения сетевых ресурсов на скоростях до десятков кбит/с.

Количество подключаемых терминалов определяется производительностью коммутатора или СРП. При этом могут использоваться линии невысокого качества, поскольку протокол предполагает коррекцию ошибок.

Основным недостатком протокола X.25 является его относительно невысокое быстродействие.

Во-первых, реализация протокола X.25 связана с необходимостью передачи большого числа команд, откликов, запросов и подтверждений, то есть велик объем «накладных расходов», не связанных с передачей полезной информации.

Во-вторых, пачечная природа трафика, характерная для компьютерных сетей, может приводить к перегрузкам и, как следствие, к росту сетевых задержек.

Наконец, в телефонных сетях, для которых и был разработан протокол X.25, имеет место высокая (для передачи данных) вероятность ошибки ($10^{-3} - 10^{-4}$), что ведет к потере пакетов и необходимости их повторной передачи. Решение перечисленных выше проблем обеспечивается технологией Frame Relay, представляющей собой упрощенную версию протокола X.25.

22.2. Сети на базе протокола Frame Relay

Протокол X.25 разрабатывался в конце 70-х годов и был рассчитан для применения в аналоговых телефонных каналах, то есть в каналах весьма невысокого качества, что определило высокую избыточность этого протокола.

В конце 1980-х годов появились сети с цифровыми каналами и цифровыми узлами коммутации. Передача стала более надежной, сочетая более высокую скорость с меньшей частотой появления ошибок.

Протокол Frame Relay (коммутация/ретрансляция кадров), который был стандартизован в начале 90-х годов XX века, разрабатывался уже во время широкого использования цифровых каналов со значительно меньшей вероятностью ошибки в канале (порядка 10^{-6}).

Технология Frame Relay явилась первой технологией, получившей широкое распространение в компьютерных сетях благодаря тому, что в этой технологии использовались преимущества более надежной цифровой передачи.

Как и технология X.25, протокол Frame Relay также ориентирован на установление соединений. Протокол Frame Relay реализуется не на трех уровнях эталонной модели ВОС, а только на первых двух уровнях. В качестве протокольных блоков в технологии Frame Relay используются кадры, в которых длина поля полезной нагрузки увеличена до 4096 байтов по сравнению с 256 байтами кадров в протоколе X.25.

Более высокая помехоустойчивость цифровых каналов по сравнению с аналоговыми позволила при использовании технологии Frame Relay освободиться от ряда процедур, в частности, от необходимости проверки целостности кадров в промежуточных узлах коммутации и, как следствие, от большого числа команд, запросов и откликов, которыми обмениваются между собой узлы коммутации X.25.

В сетях Frame Relay задача обеспечения целостности данных была возложена не на сеть (как в случае X.25), а на аппаратуру, установленную в помещении пользователя. При обнаружении кадра, содержащего ошибки, этот кадр отбрасывался в приемном оконечном устройстве.

Технология Frame Relay позволяет построить более высокоскоростные сети передачи данных (от 56 кбит/с до 34 Мбит/с). В сетях Frame Relay предлагается дополнительная услуга гарантированной минимальной битовой скорости (в отличие от сети X.25), определяемой как *гарантированная скорость передачи (Committed Information Rate, CIR)*.

При отсутствии перегрузки для пользователя может быть доступной *повышенная скорость передачи информации (Excess Information Rate, EIR)*, и в результате средняя скорость передачи будет определяться значениями между CIR и EIR.

В целом, с учетом функций оконечных устройств, протокол Frame Relay позволяет удовлетворить требования пользователей к времени доставки и к достоверности информации при достаточно высокой скорости передачи.

Эти свойства отличают протокол Frame Relay от протокола X.25, разработанного для сетей общего пользования, что и обеспечило широкое применение протокола Frame Relay при организации высокоэффективных частных сетей передачи данных с высокой пропускной способностью.

22.3. Сети АТМ

22.3.1. Введение

Технология АТМ является результатом эволюции всех рассмотренных выше технологий (коммутации каналов, протоколов Х.25, Frame Relay). Технология АТМ позволяет передавать речь, видеоинформацию и данные и поддерживает механизмы обеспечения *гарантированного QoS* для приложений с высоким приоритетом, обеспечивая обслуживание видео и речевого трафика и передачу больших массивов данных в реальном времени. Как и протокол Frame Relay, АТМ является протоколом уровня 2. Но в отличие от Frame Relay в АТМ передача данных происходит ячейками фиксированной длины, а не кадрами переменной длины.

Технология АТМ была разработана как основная технология для широкополосных цифровых сетей интегрального обслуживания (сетей В-ISDN), стандартизированных ИТУ в конце 80-х годов прошлого столетия.

В русскоязычной литературе технологию АТМ иногда переводят как *Асинхронный режим доставки*. Под асинхронным режимом подразумевается способ выделения ресурсов в сети АТМ, отличный от используемого в сетях на базе синхронного мультиплексирования с временным разделением (TDM), где полоса пропускания распределяется при планировании или конфигурировании сети. В технологии АТМ используется принцип статистического мультиплексирования (как в протоколах Х.25 и Frame Relay).

Протокол АТМ является протоколом, ориентированным на соединения. В сетях АТМ существуют два основных типа виртуальных соединений:

- Постоянное виртуальное соединение (Permanent Virtual Connection, PVC); PVC устанавливается вручную администратором сети и сохраняется до его удаления тем же лицом (или лицом, его замещающим).
- Коммутируемое виртуальное соединение (Switched Virtual Connection, SVC); SVC динамически создается, когда конечный пункт запрашивает создание соединения с определенным адресатом, и этот канал разрушается после завершения связи.

22.3.2. Структура ячейки АТМ

Определим *ячейку АТМ* как пакет фиксированной определенной длины, в противоположность пакетам и кадрам Х.25 и Frame Relay, имеющим переменную длину. Ячейка АТМ состоит из заголовка и поля полезной нагрузки.

Стандартная структура ячейки представлена на рис. 22.4. В соответствии со стандартами АТМ, принятыми ИТУ, длина ячейки составляет 53 байта. Заголовок и поле полезной нагрузки ячейки составляют, соответственно, 5 байтов и 48 байтов. Кроме того, в поле полезной нагрузки также может быть небольшой заголовок длиной от одного до двух байтов. В терминах АТМ разделение пользовательских данных на блоки полезной нагрузки носит название сегментации; добавление заголовка к тому или иному блоку полезной нагрузки определено как процесс инкапсуляции.



Рис. 22.4. Структура ячейки АТМ

Определим функции полей, расположенных в заголовке в следующем порядке:

- **Общее управление потоком** (General Flow Control, GFC), длина 4 бита; этот идентификатор функционирует только в интерфейсе пользователь-сеть. Основная функция этого поля состоит в регулировании трафика на уровне мультиплексирования, где ячейки, приходящие от разного терминального оборудования, объединяются в единый поток данных.
- **Идентификатор виртуального пути** (маршрута) (Virtual Path Identifier, VPI), длина 8 битов; виртуальный путь, ВП, (Virtual Path, VP) представляет собой мультиплексированную группу виртуальных каналов (Virtual Channel, VC). Адресная часть идентификатора VP может быть расширена до 12 битов за счет поля GFC. Это расширение позволяет сформировать до $2^{12-1}=4095$ идентификаторов виртуальных путей.
- **Идентификатор виртуального канала** (Virtual Channel Identifier, VCI), длина 16 битов; виртуальный путь соответствует пользовательскому адресу назначения, к которому должна быть направлена ячейка.
- **Идентификатор типа данных** (Payload Type Identifier, PTI), длина 3 бита; это поле выполняет несколько функций. Имеются 8 возможных значений (от 000 до 111) для кодирования различной специфической информации. Например, значения от 000 до 011 указывают отсутствие или наличие перегрузки в сети от источника к получателю (или в обратном направлении); значения 100 и 101 показывают, генерируется ли ячейка, соответственно, конечным пользователем или сетевым сегментом и так далее. Следующий по порядку бит резервируется (поле RES).

- **Приоритет при потере ячейки** (Cell Loss Priority, CLP), длина 1 бит; значение бита CLP указывает на то, должна ли быть отброшена данная ячейка (CLP = 1) или ячейка должна быть сохранена (CLP = 0) в случае перегрузки коммутатора или сети.
- **Контроль ошибок заголовка** (Header Error Control, HEC), длина 8 битов; это поле выполняет функцию коррекции ошибок с использованием избыточного циклического кода, обеспечивающего исправление одиночных ошибок в заголовке и обнаружение многократных ошибок. При обнаружении многократных ошибок ячейка отбрасывается.

22.3.3. Эталонная модель протоколов ATM

Протокол ATM действует на двух первых уровнях модели ВОС – на физическом (уровень 1) и на уровне звена данных (уровень 2). Эталонная модель протоколов ATM требует более детального описания процессов в связи с разделением функций на уровне звена. Модель включает в себя следующие четыре уровня:

- Служба верхнего уровня (выше уровня 2) определяет информацию, которая должна быть передана через сеть ATM. Эта информация может быть связана с типом источника/получателя (речь, данные, видео), видом управления (установление или разрушение соединений ВК) и видом сетевого менеджмента (мониторинг, конфигурирование сетевых элементов и сигнализация).
- Уровень адаптации ATM (уровень 2) содержит два подуровня:
 - подуровень сегментации и повторной сборки (Segmentation And Reassembly, SAR); этот подуровень отвечает за генерацию (при передаче) 48-байтовых сегментов (без заголовков) из входных данных, поступающих с верхнего уровня, а также за обратный процесс (восстановление исходных данных при приеме полезной части ячеек после удаления заголовков);
 - подуровень конвергенции (Convergence Sublayer, CS); этот подуровень различает четыре класса обслуживания, соответственно, от класса А до класса D; более детальная характеристика классов дана ниже.

Уровень ATM (уровень 2) поддерживает следующие 5 функций:

- статистическое мультимплексирование ячеек на передаче и демультимплексирование ячеек на приеме;
- формирование заголовков ячеек и инкапсуляцию;
- управление транспортом ячеек (коммутация ВП и ВК, назначение идентификаторов ВП и ВК);
- идентификацию типа полезной нагрузки (ячейка пользователя или сетевая ячейка);
- контроль потока ячеек с использованием поля общего управления GFC.

- Физический уровень (уровень 1) обеспечивает разделение ячеек, синхронизацию, контроль битовых ошибок (в поле заголовка), модуляцию и детектирование сигналов, скремблирование/ дескремблирование, преобразование сигналов для/от оптических линий и транспорт сигналов.

Процесс генерации ячеек, транспортировки их через сеть и приема может быть просто представлен как проход через стек протокольных уровней сначала сверху вниз, а затем снизу вверх. Служба верхнего уровня передает пользовательские данные на уровень AAL; уровень AAL сегментирует эти данные в 48-байтовые сегменты и передает их на уровень ATM; уровень ATM формирует заголовок и упаковывает сегменты полезной нагрузки в ячейки ATM; затем ячейки передаются на физический уровень. После того как ячейки будут переданы через сеть ATM, на приемном конце реализуется обратный процесс, в результате которого происходит восстановление пользовательских данных в службе верхнего уровня.

22.3.4. Классы обслуживания на уровне AAL

Выше было отмечено, что уровень AAL, расположенный непосредственно над уровнем ATM, обеспечивает четыре класса обслуживания, определенных как классы А, В, С и D в рекомендациях ITU-T. Эти классы отличаются друг от друга в соответствии со следующими тремя критериями (смотри табл. 22.1):

- требования к синхронизации между источником и получателем;
- скорость передачи;
- режим соединения.

Класс обслуживания определяет процессы сегментации и инкапсуляции полезной нагрузки. Формируемые ячейки названы по имени классов (соответственно, AAL1, AAL2, AAL3/4 и AAL5), имеющих следующие характеристики:

- AAL1: класс обслуживания А предназначен для поддержки транспортировки речи/видео с постоянной скоростью (Constant Bit Rate, CBR). Другое принятое название для класса AAL1 – эмуляция каналов, что соответствует соединению в сети с коммутацией каналов.
- AAL2: класс обслуживания В предназначен для поддержки транспортировки речи/ видео с переменной скоростью (Variable Bit Rate, VBR). Примерами видео в этом классе обслуживания могут служить неподвижные изображения и компрессированное видео.
- AAL3/4: класс обслуживания С (ориентированный на соединения) или класс D (не ориентированный на соединения) предназна-

чены для поддержки транспортировки пакетов переменной длины с длиной до 65,5 кбайтов.

- AAL5: класс D предназначен для поддержки транспортировки пакетов переменной длины без установления соединения. В классе D в отличие от формата AAL3/4 нет защиты от нарушения порядка следования ячеек в последовательности и меньше служебной информации, что приводит к большей эффективности этого класса обслуживания. Поэтому класс AAL5 рассматривается как наиболее простой уровень адаптации.

В табл. 22.1 представлены примеры различных приложений в соответствии с классами обслуживания, в том числе, приложения X.25 и Frame Relay для класса C и IP для класса D.

Таблица 22.1. Классы обслуживания на уровне адаптации ATM (ITU-T)

Класс обслуживания	Класс А (AAL-1)	Класс В (AAL- 2)	Класс С (AAL -3/4, AAL-5)	Класс D (AAL-3/4, AAL-5)
Синхронизация	Требуется	Требуется	Не требуется	Не требуется
Скорость передачи	Постоянная	Переменная	Переменная	Переменная
Режим соединения	Ориентирован на соединения	Ориентирован на соединения	Ориентирован на соединения	Не ориентирован на соединения
Примеры приложений	Речь/видео CBR	Речь/видео VBR	Речь/видео VBR, X.25, Frame Relay	IP

CBR – Constant Bit Rate, постоянная скорость передачи;

VBR – Variable Bit Rate, переменная скорость передачи.

22.3.5. Классы обслуживания в сети ATM и показатели качества обслуживания

В предыдущем пункте были описаны классы обслуживания на уровне адаптации AAL в соответствии с рекомендациями ITU-T. Эти классы отличаются друг от друга требованиями к синхронизации, скоростями передачи и связностью (ориентированы или не ориентированы на соединения).

Другой подход для определения сетевых услуг ATM, разработанный Форумом ATM, основан на концепции использования сети в реальном времени (Real Time, RT) и не в реальном времени (Non-Real Time, NRT).

В табл. 22.2 представлены пять возможных классов обслуживания в соответствии не только с приложениями RT и NRT, но и с набором показателей качества обслуживания (QoS). Приведем более детальное описание этих классов обслуживания:

Класс 1. Постоянная скорость передачи (CBR) в реальном времени: обеспечивает гарантированную *пиковую скорость передачи ячеек (Peak Cell Rate, PCR)* и *устойчивость к вариации задержки ячеек (Cell-Delay Variation Tolerance, CDVT)*; наиболее подходит к приложениям, связанным с речью и видео.

Класс 2. Переменная скорость передачи в реальном времени (VBR-RT): как и CBR, обеспечивает PCR и CDVT, но скорость передачи адаптируется в соответствии с требованиями реального времени при гарантированной *поддерживаемой скорости передачи ячеек (Sustained Cell Rate, SCR)* и *максимальном размере пачки ячеек (Maximum Bursts Size, MBS)*; используется для компрессированных сигналов речи и видео.

Класс 3. Переменная скорость передачи не в реальном времени (VBR-NRT): без ограничений, связанных с задержками; рекомендована для трафика с ярко выраженной пачечной структурой, характерного для локальных сетей и сетей Интернет.

Класс 4. Не специфицированная скорость передачи (Unspecified Bit Rate, UBR): без ограничений по времени, потерям, задержкам и полосе пропускания; рекомендована для электронной почты, передачи файлов и других случаев неприоритетного обслуживания трафика.

Класс 5. Доступная скорость передачи (Available Bit Rate, ABR) ABR): так же, как и класс 4, но с гарантированной минимальной скоростью передачи ячеек (Minimum Cell Rate, MCR); в этом классе предполагается возможность резервирования сетевых ресурсов для обеспечения минимальных потерь ячеек и полосы пропускания; полоса пропускания распределяется по принципу *наилучшей попытки (best effort)*; рекомендована для передачи файлов, электронной почты, круглосуточного мониторинга сети и других случаев не приоритетного обслуживания трафика.

Кроме указанных параметров для характеристики классов обслуживания используется еще ряд параметров, таких как *вариация задержки ячеек (Cell Delay Variation, CDV)*, *максимальная и средняя задержка ячеек (Maximum and Mean Cell Transfer Delay, max-CTD, mean-CTD)* и *вероятность потери ячеек (Cell Loss Ratio, CLR)*.

В табл. 22.2 показано, насколько разные классы чувствительны к потерям, задержкам и полосе пропускания.

Таблица 22.2. Классы обслуживания и дескрипторы QoS (ATM Forum)

Класс обслуживания	RT/NRT	Дескрипторы	Потери	Задержка	Полоса пропускания
CBR	RT	PCR, CDVT	Да	Да	Да
VBR-RT	RT	PCR, CDVT, SCR, MBS	Да	Да	Да
VBR-NRT	NRT	PCR, CDVT, SCR, MBS	Да	Да	Да
UBR	NRT	PCR, CDVT	Нет	Нет	Нет
ABR	NRT	PCR, CDVT, MCR	Да	Нет	Да



Ключевые слова: сеть с коммутацией пакетов, протокол X.25, виртуальный канал, коммутируемое виртуальное соединение, постоянное виртуальное соединение, оконечное оборудование данных ООД, аппаратура канала данных АКД, сборщик/разборщик пакетов, протокол Frame Relay, гарантированная скорость передачи, технология ATM, гарантированное качество обслуживания, ячейка ATM, классы обслуживания уровня AAL, классы обслуживания ATM.



Контрольные вопросы

1. Объясните принцип организации виртуальных соединений.
2. В чем разница между коммутируемыми и постоянными виртуальными каналами?
3. Назовите основные достоинства и недостатки протокола X.25.
4. Почему появилась возможность перехода от протокола X.25 к протоколу Frame Relay
5. В чем основные недостатки протокола X.25 по сравнению с протоколом Frame Relay?

6. Для какого нового вида сетей была разработана технология ATM?
7. Определите функции уровней эталонной модели ATM.
8. Объясните разделение на классы обслуживания в соответствии с рекомендациями ITU-T.
9. Объясните разделение на классы обслуживания в соответствии с рекомендациями Форума ATM.



Задачи и упражнения

1. Определите избыточность кадра и пакета для переноса информации в протоколе X.25.
2. Каким образом в протоколе X.25 общее число возможных виртуальных каналов достигает величины 4096?
3. Определите, сколько пар «источник-получатель» может быть задано в одной ячейке ATM?



Литература к лекции 22

- 22.1. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2005. – 992 с.
- 22.2. ATM: Технические решения создания сетей. / А.Н. Назаров, И.А. Разживин, М.В. Симонов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 373 с.

Лекция 23

Сети на базе протоколов TCP/IP

Как сеть состоит из множества узлов, так и все на этом свете связано узлами. Если кто-то полагает, что ячейка сети является чем-то независимым, изолированным, то он ошибается. Сеть и называется сетью, поскольку состоит из множества взаимосвязанных ячеек, и у каждой ячейки свое место и свои обязательства по отношению к другим ячейкам.

Будда

23.1. Сети Интернет

Как было отмечено в лекции 21, в сентябре 1969 года в США стартовал проект по созданию сети передачи данных ARPANET.

В сети ARPANET транспортировка данных между компьютерами осуществлялась методом коммутации пакетов, получившим название метода датаграмм.

Процедуры транспортировки пакетов между узлами сети ARPANET определялись *протоколом IP (Internet Protocol)* – протоколом сетевого уровня – и *протоколом TCP (Transmission Control Protocol)* – протоколом транспортного уровня. Широкое распространение IP-технологии в последние годы определяется рядом ключевых свойств, среди которых мы отметим наиболее существенные.

- **Универсальность.** Протоколы семейства IP сегодня используются во всех сетевых сегментах, начиная от локальных и кампусных сетей и кончая магистральными сетями. Технология IP используется для передачи данных, речи и видеоинформации. На базе IP-ориентированных протоколов строятся как фиксированные

рованные, так и беспроводные сети. Используемый вначале в корпоративных сетях, стек TCP/IP нашел широкое применение в сетях связи общего пользования.

- **Масштабируемость.** Крупномасштабные сети должны иметь возможность легко развиваться. Масштабируемость сетей на базе IP была одним из основных свойств, заложенных при разработке сети ARPANET, поскольку с самого начала ставилась задача создать протокол, позволяющий объединять большое число сетей. Количественные оценки, характеризующие современные масштабы Интернет, являются предпосылкой к созданию глобальной сети.
- **Открытость.** Сеть Интернет базируется на принципе открытых систем. Это означает, что при выполнении очень небольшого числа правил, определяющих структуру протоколов и интерфейсов, в сети могут взаимодействовать разнотипные аппаратные и программные средства. Правила присоединения сетей с любыми протоколами к сетям IP относительно просты и реализуются на базе шлюзов, обеспечивающих согласование протоколов. Развитие мировой сети Интернет в 90-х годах прошлого столетия является прямым результатом прогресса программного обеспечения, микроэлектроники и высокопроизводительных систем связи, и изменений в телекоммуникационном законодательстве и регулировании. Рост масштабов сети Интернет настолько впечатляет, что среди сетевых Операторов, разработчиков оборудования, поставщиков услуг (провайдеров) и даже пользователей постепенно формируется мнение о возможности преобразования сети Интернет в некую универсальную сеть, обеспечивающую предоставление услуг всех видов.

23.2. Эталонная модель протоколов сети Интернет

Сеть Интернет предоставляет услуги коммутации пакетов без *установления соединений*, что является фундаментальным свойством этой сети. Как было отмечено выше, Интернет базируется на двух основных протоколах – протоколе IP и протоколе TCP. Совокупность TCP и IP, а также ряда сопровождающих протоколов, определяется как *стек протоколов Интернет TCP/IP*.

Разные сети на базе TCP/IP соединяются друг с другом с помощью маршрутизаторов IP, формируя пространство Интернет.

Определим сеть Интернет как *набор связанных между собой сетей, которые используют для коммуникаций стек TCP/IP, уникальное адресное пространство Интернет и принципы маршрутизации при транспортировке пакетов*. В этой лекции мы дадим обзор

свойств сетей Интернет, начиная со стека TCP/IP и заканчивая услугами и приложениями Интернет.

На рис. 23.1 представлена модель протоколов стека TCP/IP, разработанная Комитетом IETF. Прежде всего, отметим, что модель IETF состоит из пяти уровней (а не из семи, как модель OSI). Первые два уровня соответствуют физическому уровню и уровню звена данных модели OSI.

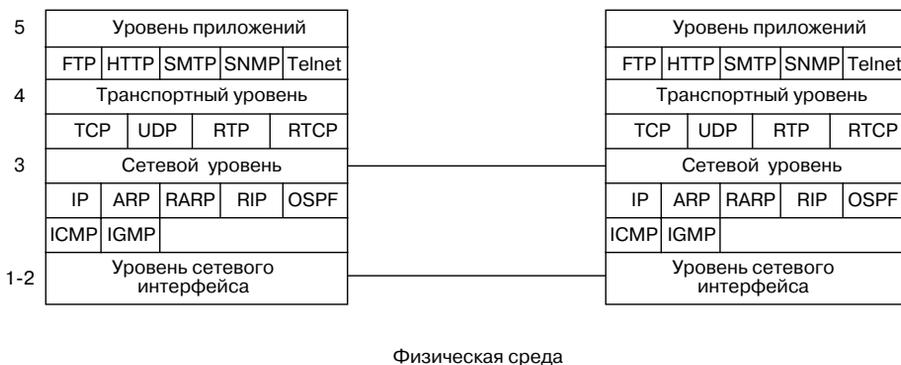


Рис. 23.1. Модель стека протоколов TCP/IP

Протокол IP расположен на третьем уровне модели IETF, и функции этого протокола соответствуют функциям сетевого уровня модели OSI.

Протокольные блоки (пакеты) IP, называемые *датаграммами*, имеют существенно больший размер, чем пакеты X.25 (но не свыше 65,5 кбайтов), характеризуются переменной длиной и передаются по сети независимо друг от друга. В отличие от технологии коммутации пакетов (технология X.25) и коммутации ячеек (технология ATM), доставка датаграмм на сетевом уровне сетей Интернет производится методом маршрутизации (см. ниже).

Протокол TCP расположен на четвертом уровне модели IETF, и его функции во многом подобны функциям транспортного протокола модели OSI. Протокол TCP обеспечивает сквозной контроль передачи пакетов. На пятом уровне расположены подсистемы, называемые приложениями. Этот уровень соответствует уровню приложений (седьмому уровню) модели OSI.

Далее рассматриваются особенности протоколов сети Интернет на разных уровнях модели IETF.

23.3. Протоколы стека TCP/IP

Модель IETF содержит ряд подуровней с соответствующими протоколами и функциями. В результате развития Интернет общее число IP-ориентированных протоколов включает в свой состав более сотни спецификаций. Эти спецификации, как было отмечено в лекции 21, выпускаются организацией IETF под общим названием RFC (Request for Comments) и свободно доступны в сети Интернет, в отличие от стандартов других организаций (ITU, ETSI и др.).

На рис. 23.1 представлены основные протоколы, которые можно разделить на три группы: первая группа соответствует сетевому уровню, вторая – транспортному уровню и третья – уровню приложений. В этой лекции мы рассмотрим функции протоколов IP, TCP и UDP. Остальные протоколы будут описаны в следующих лекциях.

На третьем (сетевом) уровне *протокол IP (Internet Protocol)* обеспечивает:

- маршрутизацию пакетов через сеть по принципу «наилучшей попытки» (см. ниже);
- соединения между сетями с различными базовыми протоколами (например, X.25, ATM, Frame Relay, Ethernet);
- контроль перегрузок.

На четвертом (транспортном) уровне *протокол TCP (Transmission Control Protocol)* – протокол управления транспортировкой) обеспечивает:

- установление надежных соединений между конечными пользователями (инициирование, подтверждение, передача/прием, разрушение соединений);
- целостность сообщений и контроль ошибок;
- восстановление работоспособности сети после сетевых отказов.

Протокол UDP (User Datagram Protocol) – пользовательский протокол передачи датаграмм) является более простой, но и менее надежной альтернативой протоколу TCP. Функции TCP и UDP описаны далее в разделе «Структура заголовков TCP и UDP».

23.4. Принципы организации сети Интернет

Как уже было отмечено, два первых уровня IETF, обозначенных на рис. 23.1 как уровень сетевого интерфейса, совпадают с двумя первыми уровнями модели OSI. На втором уровне реализуются представление информации в виде *кадров* и помехоустойчивое кодирование данных. На первом уровне обеспечивается соединение с физическим каналом передачи.

На третьем уровне ключевым элементом является *IP-маршрутизатор*, называемый также *IP-шлюзом*. Через такой интерфейс могут быть соединены сети самых разных типов – локальные сети (LAN), городские сети (MAN), крупномасштабные сети (WAN). Рабочие станции, подключаемые к сети, называются хостами. В сети Интернет хосты действуют или как *клиенты*, или как *поставщики (провайдеры) услуг*. Клиент представляет собой объект, запрашивающий набор услуг. Провайдер, выступающий как сервер, обрабатывает запросы и обеспечивает реализацию запрашиваемых услуг. Таким образом, в сети устанавливается набор отношений между множеством хостов. На рис. 23.2 представлен фрагмент сети Интернет, объединяющей три сети.

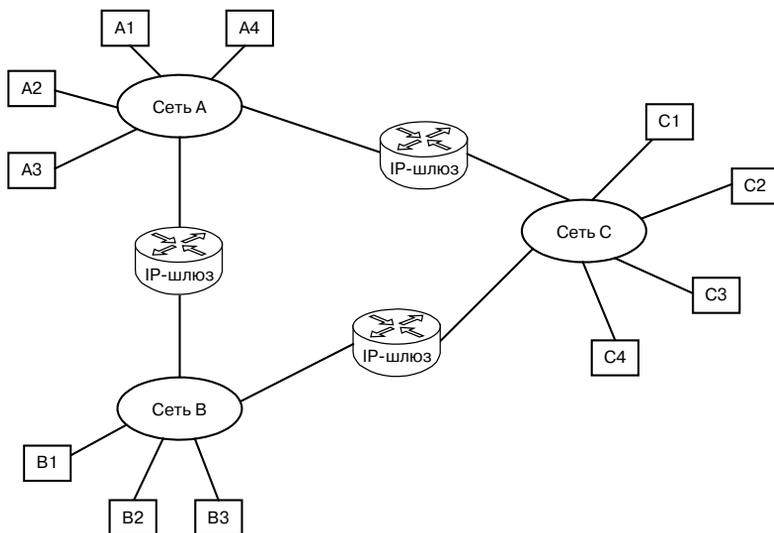


Рис. 23.2. Фрагмент сети Интернет

23.5. Структура заголовков IPv4 и IPv6

Структура заголовка датаграммы IPv4. Каждая датаграмма IP, переноси́мая полезную нагрузку, включает в свой состав заголовок и данные. На рис. 23.3 показан заголовок датаграммы IP, соответствующий версии 4. Первые реализации версии 4 относятся к началу 1980-х годов, и эта версия наиболее распространена сегодня.

Заголовок состоит, как минимум, из 20 байтов с возможностью расширения путем добавления до 4 байтов, обеспечивающих разные дополнительные опции. Для удобства заголовок представлен в виде набора строк, каждая из которых содержит по 4 байта. Общее число таких полей равно 5 или 6.

Дадим краткое описание этих полей.

Поле «Версия», 4 бита, идентифицирует заголовок IP, в данном случае, версию IPv4. Поле «Длина заголовка» определяет размер заголовка (20 или 24 байта). Поле «Тип обслуживания» (Type of Service, ToS) состоит из 8 битов. Первые 3 бита определяют приоритет датаграммы (000 – без приоритета, 111 – уровень управления сетью). Следующие три бита определяют минимальную задержку, высокую пропускную способность и высокую надежность (каждый бит равен единице). Последние два бита не применяются. Отметим, что в сетях Интернет 1990-х годов поле ToS не использовалось.

Биты

0	3	7	15	18	31	} 20 байтов
Версия	Длина заголовка	Тип обслуживания	Полная длина			
Идентификатор			Флаги	Указатель фрагмента		
Время жизни		Протокол	Контрольная сумма заголовка			
IP-адрес отправителя						
IP-адрес получателя						
IP-опции (если имеются)				Заполнитель		

Рис. 23.3. Фрагмент заголовка датаграммы IP (версия IPv4)

Поле «Полная длина», 16 битов, определяет полную длину датаграммы в байтах, включая заголовок и данные, передаваемые в пакете. Поскольку длина поля равна 16 битам, максимальная длина датаграммы равна $2^{16}-1=65535$ байтов. В зависимости от ее длины, датаграмм может быть разделена на блоки (фрагменты) в тех случаях, когда маршрутизаторы не могут обрабатывать датаграммы полного размера.

Поля «Идентификатор», «Флаги» и «Указатель фрагмента» используются при восстановлении датаграммы из фрагментов на приемном конце.

Поле «Идентификатор», 16 битов, позволяет восстановить датаграмму из фрагментов в пункте назначения.

Поле «Флаг», 3 бита, также используется для восстановления датаграммы на приемном конце. Первый бит указывает, допустима ли фрагментация (0 соответствует отсутствию фрагментации), второй бит определяет, является ли фрагмент последним в последовательности фрагментов, принадлежащих одной датаграмме (1 означает последний фрагмент, 0 – наличие дополнительных фрагментов).

Третий бит не используется. Поле «Указатель фрагмента», 13 битов, определяет смещение фрагмента относительно начала исходной датаграммы. Полностью нулевое поле указывает, что датаграмма не фрагментирована.

Поле «Время жизни», 8 битов, определяет предельное время, в течение которого датаграмма может находиться в сети. Время жизни, как правило, задается числом маршрутизаторов (числом шагов), и при каждом прохождении через маршрутизатор этот показатель уменьшается на единицу. Когда значение поля достигает нуля, датаграмма выбрасывается из сети.

Восьмибитовое поле «Протокол» определяет протокол, использующийся на транспортном уровне. Значения в этом поле задают протоколы TCP и UDP для транспортировки информационных датаграмм, а ICMP – для сетевого контроля.

Поле «Контрольная сумма заголовка», 16 битов, предназначено для контроля ошибок в заголовке (только в заголовке, а не во всей датаграмме!) с помощью циклического кода. Эта проверка осуществляется при прохождении датаграммы или ее фрагмента через каждый маршрутизатор.

Следующие два поля предназначены для адресов отправителя и получателя. Обычно принято записывать IP-адреса в десятичной форме с разделением в виде точек, т.е. в форме A.B.C.D. Однако в полях IP-адреса отправителя и получателя представлены IP-адреса в двоичной форме.

Во время прохождения датаграмм одного сообщения через сетевые узлы эти адреса не изменяются. Узел-отправитель, исходя из таблицы маршрутизации, знает, к какому соседнему узлу необходимо передать датаграмму. В свою очередь, IP-маршрутизатор знает, к какому следующему узлу, исходя из адреса узла-получателя, следует переслать датаграмму.

Поле «Опции», максимум – 4 байта, делает возможным введение различных функций тестирования и контроля.

Поле «Заполнитель» используется для дополнения строки «Опции» до полной длины 32 бита. Необходимо отметить, что наиболее важное свойство протокола IP в его исходном виде (четвертая версия, без применения поля ToS для контроля качества обслуживания) состоит в том, что *датаграммы передаются от источника к получателю без установления любого соединения*, практически при отсутствии управления процессом передачи.

Очевидно, что при передаче фрагменты датаграмм и датаграммы могут быть потеряны или сброшены в узлах сети, или, из-за больших задержек отдельных фрагментов, датаграммы могут быть потеряны при сборке в месте получения. Таким образом, режим IP при использовании четвертой версии в ее первоначальной

редакции обеспечивает минимальный уровень качества обслуживания, получивший название принципа «наилучшей попытки».

Принцип «наилучшей попытки» заключается в том, что сеть берет на себя только попытки доставить поступившие пакеты без гарантии выполнения любых норм, определяемых показателями качества обслуживания. Такой режим доставки был приемлем, когда в сетях Интернет передавался трафик, не предъявляющий высоких требований к доступным сетевым ресурсам (например, пересылка файлов или электронная почта).

Однако в настоящее время в сетях IP передается трафик разных видов, в том числе интерактивный трафик реального времени, чувствительный к задержкам (речь поверх IP, видеоконференции, интерактивные игры и т.д.), а также к надежности, к защите информации от несанкционированного доступа и др. Эти требования привели к разработке для сетей Интернет новых протоколов, в число которых входит и протокол IPv6.

Структура заголовка датаграммы IPv6 (рис. 23.4). Протокол IPv4 был реализован в сетях Интернет в 1980 году. Двадцать лет спустя, в 2000 году, половина всех адресов Интернет была использована, причем 75% из них были закреплены за пользователями в Северной Америке. Начиная с конца 90-х годов, начался взрывной процесс развития Интернет, продвижение Интернет в страны Азии с миллиардным населением. В этих условиях стало очевидным, что адресное пространство, которое используют как абоненты, так и разные устройства, ограничивает повсеместное распространение Интернет. Чтобы сеть Интернет могла развиваться, необходимо было увеличить доступное адресное пространство, что и привело к разработке новой версии протокола IP, известной как IPv6. Однако, кроме проблемы адресов, при разработке новой версии был учтен еще ряд недостатков четвертой версии.

Биты

0	3	11	15	23	31
Версия	Класс трафика	Метка потока			
Длина полезной нагрузки			Следующий заголовок	Ограничение числа шагов	
Адрес получателя (128 битов)					
Адрес получателя (128 битов)					

Рис. 23.4. Формат заголовка датаграммы IPv6

Основными свойствами усовершенствованного протокола IPv6, полученными на основе структуры заголовка, являются:

- введение нового размера адресного поля, обеспечивающего увеличение числа доступных IP-адресов и упрощение процесса их конфигурации;
- разработка механизмов, поддерживающих гарантированное качество обслуживания;
- возможность применения средств аутентификации и защиты информации.

Как видно из рис. 23.4, длина заголовка IPv6 равна 40 байтам, что в два раза больше, чем в версии v4. Первые две строки (8 байтов) обеспечивают функции контроля, и структура этих двух строк существенно отличается от структуры строк, расположенных над адресной частью заголовка IPv4.

Поле «Версия», 4 бита, указывает, что пакет имеет заголовок IPv6.

Поля «Класс трафика», 8 битов, и «Метка потока», 20 битов, определяют предварительно назначенный уровень качества обслуживания для определенной пары адресов источника и пункта назначения.

Качество обслуживания в Интернет определяется пропускной способностью сети, задержкой и джиттером пакетов, а также потерями пакетов. Уровни качества обслуживания определяются двумя классами услуг, известных как Integrated Services (интегрированные услуги) и Differentiated Services (дифференцированные услуги). Детальное описание этих услуг дано ниже, в лекции 28.

Поле «Длина поля полезной нагрузки», 2 байта, определяет длину пакета в байтах, исключая длину заголовка. Так же, как и в четвертой версии, длина поля равна 16 битам и максимальная длина пакета равна $2^{16}-1=65535$ байтам.

Поле «Следующий заголовок», 8 битов, определяет типы дополнительных заголовков, которые должны следовать за основным заголовком IPv6.

Поля, в которых располагаются дополнительные заголовки, размещаются между заголовком IP и заголовками TCP или UDP. Дополнительные заголовки включают в себя большой набор функций, таких как маршрутизация, фрагментация, защита информации, аутентификация.

Поле «Ограничение числа шагов», 8 битов, выполняет те же функции, что и поле «Время жизни» в четвертой версии.

Адреса отправителя и получателя имеют каждый по 16 байтов (128 битов), то есть превышают аналогичные поля четвертой версии в четыре раза.

Число возможных адресов в протоколе IPv6 равно $2^{128} \approx 3,4 \times 10^{38}$. При таком количестве адресов очевидно, что в будущем каждое устройство на микропроцессорах может получить собственный адрес. Отметим, что в протоколе IPv6 датаграммы называются *пакетами IPv6*; сетевые элементы (маршрутизаторы и хосты) называются *узлами (nodes)*.

Несмотря на то что работы, связанные с внедрением протокола IPv6, ведутся уже более 10 лет, необходимо иметь в виду, что основную часть аппаратно-программных модулей в сетях IP реализует протокол IP четвертой версии. В связи с этим возникает проблема перехода на новое семейство протоколов, ориентированных на версию IPv6.

По инициативе IETF была создана экспериментальная сеть 6Bone, охватывавшая страны Северной Америки, Европы (в том числе и Россию), Японию и включавшая в себя несколько сотен сетей IP.

В сети 6Bone часть маршрутизаторов поддерживали обе версии протокола IP, образуя виртуальную сеть, функционирующую поверх сети IPv4 и обеспечивающую передачу пакетов по протоколу IPv6 между рабочими станциями и между маршрутизаторами.

В 2004 году сеть 6Bone закрыта и в настоящее время в США активно разрабатывается некоммерческий проект Internet2, как прообраз перспективных сетей Интернет общего пользования, которые будут строиться на базе протокола IPv6 (см. лекцию 30).

Благодаря большому набору новых функциональных возможностей, протокол IPv6, безусловно, получит широкое распространение. Однако переход к новому протоколу связан с существенной модификацией сетевых устройств, что потребует значительных затрат.

23.6. Структура заголовков TCP и UDP

Протокол TCP (Transmission Control Protocol). Для повышения надежности транспортировки в сетях IP в 1974 году был разработан протокол транспортного уровня TCP, который обеспечивает *гарантированную доставку датаграмм*. Протокол TCP является *ориентированным на соединения*. Пакет TCP называется также сегментом.

На рис. 23.5 показана структура заголовка протокола TCP, содержащая пять строк, каждая по 4 байта. К заголовку может быть прибавлена еще одна строка для опций. Если протокол IP работает с адресами отправителя и получателя, то протокол TCP устанавливает соединение с портами, идентифицирующими, какой тип приложения в оконечных хостах используется в этом соединении.

Биты				
0	3	9	15	31
Порт отправителя			Порт получателя	
Порядковый номер				
Длина заголовка	Резерв	Флаги	Размер окна	
Контрольная сумма			Указатель важной информации	
IP-адрес получателя				
Опции (если имеются)			Заполнитель	

Рис. 23.5. Формат заголовка протокольного блока TCP

Заголовок протокола TCP начинается с полей номеров портов отправителя и получателя (2 байта в каждом поле). Адрес IP вместе с номером порта TCP называется оконечной точкой хоста. Комбинация порта отправителя TCP, адреса отправителя IP, порта назначения TCP и адреса получателя IP определяет уникальное соединение TCP, называемое *сокетом*.

Поле «Порядковый номер», 4 байта, определяет смещение пакета от начального порядкового номера, используемого в передаваемом сегменте TCP для нумерации байтов. Порядковый номер используется приемным хостом для упорядочения прибывающих сегментов. При этом потерянные сегменты повторяются источником по требованию со стороны получателя.

Поле «Длина заголовка», 4 бита, определяет полную длину заголовка TCP.

Поле «Резерв» в настоящее время не используется и должно обнуляться.

Поле «Флаги», 6 битов, определяет 6 индивидуальных флагов. Каждый флаг, имеющий значение «1», указывает на определенную процедуру (важность информации, подтверждение того, что номер следующего пакета является правильным, быстрая передача информации приемнику, прерывание связи, запрос синхронизации при установлении нового соединения, отсутствие на передающей стороне данных для передачи).

Поле «Размер окна», 2 байта, задает количество байтов, которые могут быть приняты и накоплены в буфере приемника перед отправкой подтверждения.

Поле «Контрольная сумма», 2 байта, выполняет функции, аналогичные функциям поля «Контрольная сумма заголовка» в протоколе IPv4.

Поле «Указатель важной информации», 2 байта, указывает номер последнего байта сегмента, который содержит высокоприоритетные данные.

Поле «Опции» делает возможным введение функций контроля и мониторинга сети.

Поле «Заполнитель» используется для дополнения строки «Опции» до полной длины 32 бита.

Как было отмечено выше, протокол TCP устанавливает соединение между двумя оконечными точками сети или хостами. Основными функциями протокола TCP являются инициирование соединения, соглашение о том, какой порт (или программа) будет использоваться (например, для пересылки файлов или для электронной почты), управление передачей сегментов и завершение сеанса связи между любыми двумя оконечными точками. Сегменты TCP могут переносить сообщения различных типов – полезную нагрузку, запросы установления/закрытия соединения TCP, подтверждения и др.

Протокол UDP (User Datagram Protocol) представляет собой другой пример транспортного протокола в сетях Интернет. Так же, как протокол TCP, UDP обеспечивает доставку датаграмм, однако функционирует в режиме *без установления соединений* между оконечными точками.

Пакет протокола UDP, содержащий заголовок и поле данных, называется датаграммой UDP. Протокол UDP не поддерживает надежную доставку датаграмм, поскольку в его функции не входят управление передачей данных и подтверждение приема. Заголовок датаграммы включает в себя порты отправителя и получателя, поле длины датаграммы UDP и поле контрольной суммы. Необходимо отметить, что перечисленные выше свойства протокола UDP не позволяют применять этот протокол для передачи данных, предъявляющих высокие требования к надежной доставке. С другой стороны, небольшой объем заголовка и, как следствие, небольшие накладные расходы (например, по сравнению с TCP) определили возможности его применения в надежных локальных сетях.

В последние несколько лет протокол UDP нашел широкое применение при передаче речи в сетях Интернет. Характеристика услуги «Речь поверх IP» (Voice over IP, VoIP) дана в лекции 26.



Ключевые слова: стек протоколов Интернет TCP/IP, протокол IP, протокол TCP, протокол UDP, датаграмма, фрагмент, IP–маршрутизатор, маршрутизация, заголовок протокола IPv4, заголовок протокола IPv6, принцип «наилучшей попытки».



Контрольные вопросы

1. Поясните основные свойства сетей Интернет.
2. В чем различие эталонных моделей OSI и IETF?
3. Объясните принцип «наилучшей попытки».
4. В чем главное отличие протокола IP от протокола TCP?
5. Что означает поле «Время жизни» в заголовке датаграммы?
6. Перечислите основные свойства протокола IPv6.
7. Поясните назначение поля «Тип обслуживания».
8. Чем характеризуется качество обслуживания в сетях Интернет?
9. В чем отличие протокола TCP от протокола UDP?



Задачи и упражнения

1. Определите общее число адресов, доступных при использовании протокола IPv4.
2. Сколько уровней приоритета датаграммы можно определить в протоколе IPv4?



Литература к лекции 23

- 23.1. В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. Компьютерные сети: Принципы, технологии, протоколы. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2008. – 960 с.
- 23.2. Семенов Ю. А. Протоколы Интернет. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001. – 1100 с.

Лекция 24

Системы сигнализации VoIP

Архитектура – это застывшая музыка.
Ф. Шеллинг

24.1. Создание архитектуры SIP

Работы в области создания протоколов сигнализации для системы VoIP начались в IETF с выпуска спецификации *draft-ietf-mmusic-sip-00*, где был описан протокол *Session Invitation Protocol*, получивший впоследствии название SIP/1.0.

Этот документ специфицировал только запрос установления сеанса связи, однако в перспективе эта спецификация ориентировалась на интеграцию в создававшуюся в то время мультимедийную архитектуру конференций, о чем свидетельствовала аббревиатура *MMUSIC* в названии этого документа, которая не была непосредственно связана с музыкой, а расшифровывалась как *Multiparty Multimedia Session Control*.

Любопытно отметить, что до создания первой спецификации протокола инициирования сеансов, известного сейчас как *SIP (Session Initiation Protocol)*, в 1996 году в IETF соперничали два протокола установления сеансов связи: уже упомянутый выше и протокол *Simple Conference Invitation Protocol (SCIP)*.

Первый протокол поддерживал установление сеанса, был рассчитан на работу только поверх рассмотренного в лекции 23 протокола UDP, а для описания сеанса использовал протокол SDP, о котором мы поговорим чуть позже в этой лекции.

Второй протокол, SCIP, позволял обслуживать сеанс уже после его установления, базировался на протоколе TCP (см. лекцию 23) и использовал протоколы *Hypertext Transport Protocol (HTTP)* и *Simple Mail Transport Protocol (SMTP)*, но не применял протокол SDP для описания своих сеансов.

Именно эти два протокола были объединены в протокол Session Initiation Protocol, который позаимствовал позитивные идеи у каждого из своих «родителей».

От протокола Session Invitation Protocol новый протокол воспринял взаимодействие с UDP и использование SDP, от протокола SCIP – поддержку TCP и применение протоколов SMTP и HTTP. Вначале новый протокол получил название SIP/2.0, чтобы отличить его от SIP/1.0.

Первая спецификация протокола SIP/2.0 была опубликована в RFC 2543, и впоследствии именно этот протокол стал известен как SIP.

С момента публикации спецификация RFC 2543 претерпевала многочисленные модификации; работа по дальнейшему улучшению протокола SIP продолжается и сейчас. В настоящее время действующим стандартом SIP является RFC 3261. В основу протокола SIP положены следующие основные свойства:

- *персональная мобильность пользователей*, основанная на присвоении пользователю уникального идентификатора, который позволяет ему перемещаться в пределах сети и получать связь вне зависимости от места, где он находится, сообщаемого серверу определения местонахождения при помощи специального сообщения;
- *масштабируемость сети*, построенной на базе этого протокола;
- *открытость протокола*, характеризуемая возможностью дополнять его функциями поддержки новых услуг и его адаптации к работе с различными приложениями.

Более подробно с протоколом SIP можно познакомиться в [14].

24.2. Протокол SDP

Протокол SIP используется для установления сеансов связи между пользователями. Но кроме этого, пользователи должны согласовать тип и правила кодирования информации, которой они собираются обмениваться, то есть совместно использовать описание сеанса между ними. Такое описание сеанса составляется в соответствии с уже упомянутым протоколом *SDP (Session Description Protocol)*.

Протокол SDP представляет собой язык для описания сеансов связи. Он содержит информацию об участвующих в сеансе сторонах, дате и времени, когда должен состояться сеанс, о типах совместно используемых медиапоток, а также об используемых адресах и номерах портов. Вполне возможно, что описание сеанса может относиться к нескольким медиапотокам, как в видеоконференции, где один медиапоток относится к кодированной речи, а другой – к кодированному видео. Поэтому протокол SDP структурирован так, что он может представлять информацию, относящуюся к сеансу в целом (например, имя сеанса), плюс информацию, связанную с каждым отдельным потоком (например, формат медиапотока и применяемый номер порта).

Объединенное использование протоколов SIP и SDP иллюстрирует пример на рис. 24.1. Это возможный вариант сценария установления соединения между User1@niits.ru, который зарегистрирован в area1.niits.ru, и User2@niits.ru, который зарегистрирован в area2.niits.ru.

Запрос сеанса SIP начинается приглашением INVITE, которое указывается в первой строке запроса. Эта строка указывает также адрес объекта, которому передается сообщение, называемый *URI (uniform resource indicator)* запроса. В данном случае сообщение передается непосредственно к абоненту User2*.

Поле заголовка *Via* вводится каждым объектом в цепочке от источника сообщения до пункта назначения. Поля заголовков *From* и *To* указывают инициатора и получателя запроса. Дальнейшее описание сценария на рис. 24.1 мы оставим читателю в качестве упражнения.

24.3. Управление медиашлюзами

Принцип декомпозиции шлюзов предусматривает разбиение шлюза IP-телефонии на структурные элементы.

Первым протоколом, базирующимся на этом принципе и получившим широкое распространение, стал разработанный IETF протокол управления шлюзами *Media Gateway Control Protocol (MGCP)*.

Этот протокол представляет собой объединение двух протоколов – простого протокола управления шлюзами *SGCP (Simple Gateway Control Protocol)*, и протокола управления IP-оборудованием *IDCP (IP Device Control Protocol)*.

Рабочая группа MEGACO в составе IETF усовершенствовала протокол управления шлюзами и предложила протокол MEGACO.

*Если между User1 и User2 есть прокси-сервер, то запрос сначала передается к этому серверу, который и будет указывать URI запроса.

Разработкой протокола управления медиашлюзами занималась и Исследовательская Комиссия 16 (ITU-T), которая раньше ввела принцип декомпозиции шлюзов в рекомендацию H.323.

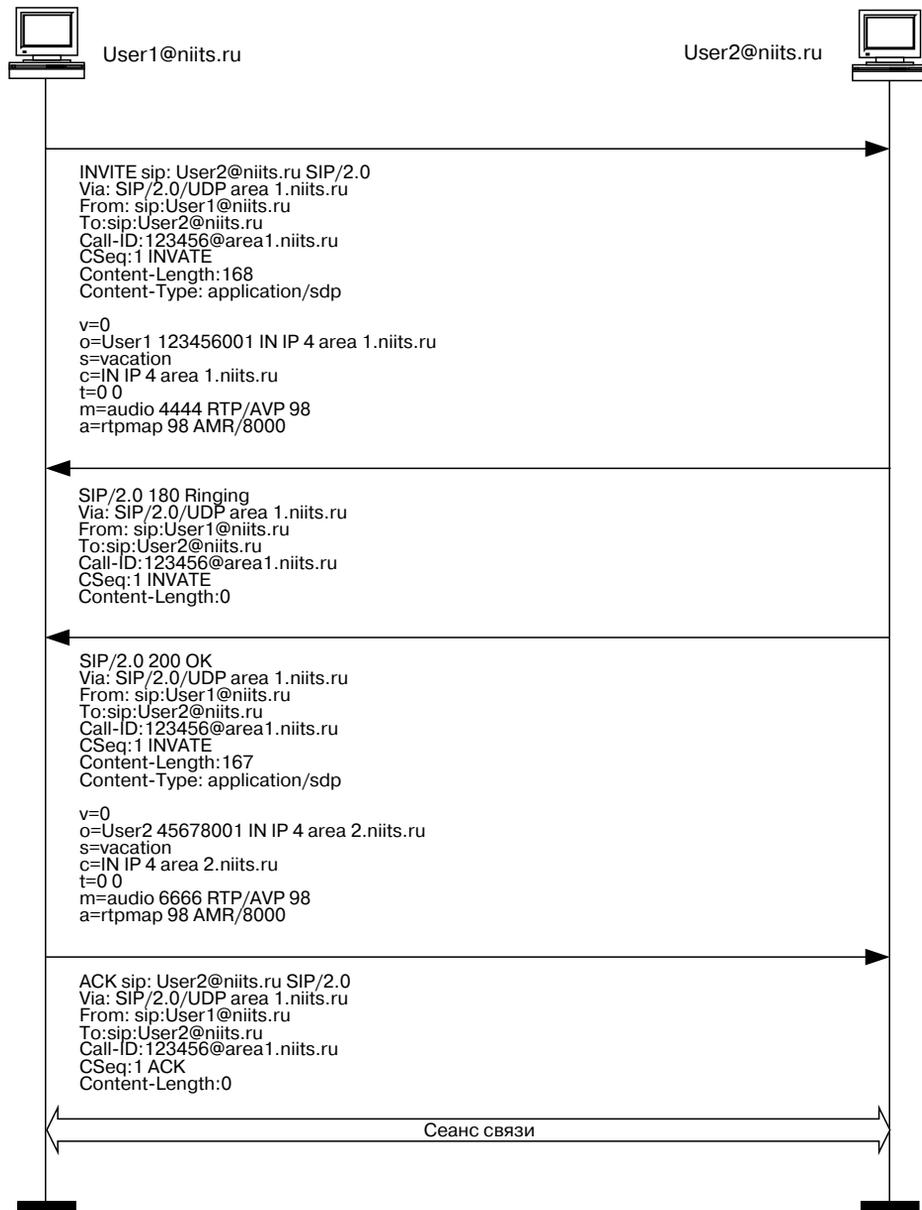


Рис. 24.1. Пример установления SIP-соединения

Эта Исследовательская Комиссия предложила модифицировать MEGACO в направлении большей совместимости с H.323, и опубликовала рекомендацию H.248.1. В результате был принят новый, совместно разработанный IETF и ITU протокол, получивший название MEGACO/H.248.

Для переноса сигнальных сообщений протокол MEGACO/H.248 может использовать протоколы UDP и TCP, а также протокол SCTP, речь о котором пойдет ниже в этой лекции.

Важной особенностью протокола MEGACO/H.248 является то, что его сообщения могут кодироваться двумя способами. IETF использует текстовый способ кодирования сигнальной информации, а для описания сеанса связи – вышеупомянутый протокол SDP. В свою очередь, ITU-T предусматривает двоичный способ представления сигнальной информации – ASN.1, а для описания сеансов связи рекомендует используемый во многих других протоколах ТФОП и СПС механизм *TLV (Tag-length-value)*. Более подробно с протоколом MEGACO/H.248 можно познакомиться в [3].

24.4. Протокол H.323

Первой рекомендацией для построения сетей IP-телефонии стала рекомендация H.323. Так как ITU исторически занимался проблемами ТФОП, то и предложенная рекомендация фактически определяла сеть ISDN, наложенную на IP-сеть. В частности, процедура установления соединения в сети IP-телефонии по H.323 базируется на рекомендации Q.931 и практически идентична той же процедуре в сетях ISDN.

Основными устройствами сети H.323 являются *терминал, шлюз, привратник и устройство управления конференциями*. В связи с неоднократно упоминавшейся в предыдущих лекциях проблемой мобильности абонентов отметим, что в отличие от телефонов ТФОП, терминалы H.323 не имеют жестко закрепленного места в сети и подключаются к любой точке IP-сети. При этом сеть H.323 разбивается на зоны, а каждой зоной управляет привратник.

В рекомендацию H.323 входят три основных протокола: *протокол RAS (Registration, Admission and Status) взаимодействия оконечного оборудования с привратником, протокол управления соединениями H.225 и протокол управления логическими каналами H.245*.

Эти протоколы, вместе с протоколами Интернет IP, TCP, UDP, RTP и RTCP, а также с протоколом Q.931, представлены на рис. 24.2.

Как видно на рисунке, протокол TCP используется для переноса сигнальных сообщений H.225 и управляющих сообщений H.245, сигнальные сообщения RAS переносятся с помощью протокола

UDP, а доставка речевой и видеоинформации производится с использованием протоколов RTP/RTCP, входящих в стек TCP/IP.

Гарантированная доставка информации по протоколу TCP		Не гарантированная доставка информации по протоколу UDP		
H.245	H.225		Потоки речи и видеоинформации	
	Управление соединением (Q.931)	RAS	RTCP	RTP
TCP		UDP		
IP				
Уровень звена данных				
Физический уровень				

Рис. 24.2. Протоколы рекомендации H.323

24.5. Сигнализация ОКС7 поверх IP

Универсальность и повсеместное развертывание системы общеканальной сигнализации ОКС7, о чем подробно говорилось в лекции 4, а затем и в лекции 14, стимулируют работы, направленные на ее использование совместно с протоколами TCP/IP. Задачами организации переноса сообщений ОКС7 через сеть IP занимается рабочая группа *Sigtran*, входящая в IETF. Основой стека протоколов *Sigtran* для надежной транспортировки сообщений ОКС7 по сетям IP (рис. 24.3) является *протокол управления потоками SCTP (Stream Control Transmission Protocol)*, который поддерживает перенос сигнальных сообщений между конечными пунктами сигнализации в сети IP.

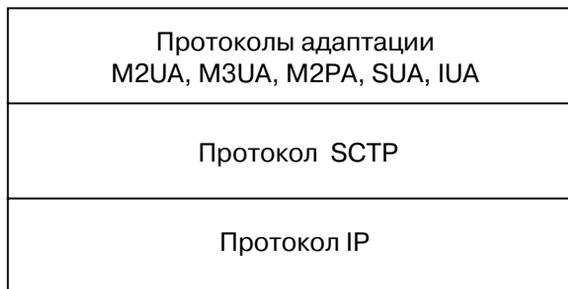


Рис. 24.3. Стек протоколов Sigtran

24.5.1. Протокол управления потоками SCTP

Для организации сигнальной связи один конечный пункт предоставляет другому перечень своих транспортных адресов (IP-адреса в сочетании с номером порта SCTP). Протокол SCTP позволяет независимо упорядочивать сигнальные сообщения в разных потоках и обеспечивает перенос сигнальной информации с подтверждением приема, доставку сообщений каждого потока с сохранением очередности их следования, возможность объединения нескольких сообщений в один пакет SCTP, фрагментацию данных по мере необходимости, устойчивость к перегрузкам и т.п.

24.5.2. Протоколы адаптации M2UA, M2PA и M3UA

Для реализации функциональных возможностей рассмотренного в лекции 4 протокола MTP в сетях IP рабочая группа Sigtran рекомендовала три новых протокола – M2UA, M2PA и M3UA. Каждый из них кратко рассматривается ниже, но прежде приведем основные требования ITU-T к переносу сообщений MTP как по цифровым телефонным сетям, так и по IP-сетям:

- для одноранговых процедур уровня 3 MTP требуемое время отклика должно находиться в пределах от 500 мс до 1200 мс;
- вероятность потери сообщения из-за отказов на транспортном уровне должна быть не более 10^{-7} ;
- вероятность несвоевременной доставки сообщения из-за отказов на транспортном уровне должна быть не более 10^{-9} .

Протокол *M2UA уровня адаптации для пользователей уровня 2 MTP (MTP Level-2 User Adaptation Layer)* предусматривает набор услуг, эквивалентный тому, который предоставляет уровень 2 MTP уровню 3 MTP в обычной сети ОКС7.

Протокол используется между шлюзом сигнализации и контроллером транспортного шлюза в сетях VoIP. Шлюз сигнализации принимает сообщения ОКС7 через интерфейс уровня 1 и уровня 2 MTP от конечного или транзитного пункта сигнализации. Шлюз является окончанием для звена ОКС7 на уровне 2 MTP и транспортирует информацию уровня 3 MTP и верхних уровней к контроллеру транспортного шлюза или к другому конечному пункту сети IP, используя протокол M2UA поверх SCTP/IP.

Протокол *M2PA уровня адаптации для одноранговых пользователей MTP2 (MTP2 User Peer-to-Peer Adaptation Layer)*, в отличие от протокола M2UA, используется для полномасштабной обработки сообщений уровня 3 MTP, которыми обмениваются два любых узла сети ОКС7, взаимодействующих через сеть IP.

Пункты сигнализации сети IP функционируют как обычные узлы ОКС7, используя протоколы стека TCP/IP.

Каждый пункт сигнализации сети с коммутацией каналов или сети IP имеет код пункта сигнализации ОКС7. Протокол M2PA предусматривает тот же набор услуг, который предоставляет уровень 2 МТР уровню 3 МТР.

Протокол может использоваться между шлюзом сигнализации и контроллером транспортного шлюза, между шлюзом сигнализации и пунктом сигнализации сети IP, а также между двумя пунктами сигнализации сети IP. Пункты сигнализации могут использовать протокол M2PA для передачи и приема сообщений уровня 3 МТР по сети IP или уровень 2 МТР для обмена этими сообщениями по стандартным звеньям ОКС7.

Протокол M2PA облегчает интеграцию сетей ОКС7 и IP благодаря тому, что позволяет узлам сети с коммутацией каналов иметь доступ к базам данных IP-телефонии и к другим узлам сетей IP, используя сигнализацию ОКС7. И, наоборот, протокол M2PA позволяет приложениям IP-телефонии получать доступ к базам данных сети ОКС7.

Протоколы M2PA и M2UA имеют следующие различия:

- при использовании протокола M2PA шлюз сигнализации является узлом ОКС7 с кодом пункта сигнализации, а при использовании протокола M2UA шлюз сигнализации не является узлом ОКС7 и не имеет кода пункта сигнализации;
- в случае применения протокола M2PA соединение между шлюзом сигнализации и пунктами сигнализации сети IP представляет собой звено ОКС7, а в случае применения протокола M2UA соединение между шлюзом сигнализации и контроллером транспортного шлюза не является звеном ОКС7;
- при использовании M2PA шлюз сигнализации может выполнять функции верхних уровней ОКС7, например, функции SCCP, а при использовании M2UA шлюз сигнализации не выполняет функции верхних уровней ОКС7, поскольку он не содержит функций уровня 3 МТР;
- в случае применения протокола M2PA выполнение функций эксплуатационного управления базируется на соответствующих процедурах уровня 3 МТР, а в протоколе M2UA используются собственные процедуры эксплуатационного управления;
- при использовании M2PA пункты сигнализации сети IP обрабатывают примитивы уровня 3 МТР и уровня 2 МТР, а в случае M2UA контроллер транспортного шлюза переносит примитивы уровня 3 МТР и уровня 2 МТР на уровень 2 МТР шлюза сигнализации для их последующей обработки.

Протокол *M3UA уровня адаптации для пользователей уровня 3 MTP (MTP Level-3 User-Adaptation Layer)* связан с переносом по сети IP средствами протокола SCTP сигнальных сообщений подсистем-пользователей уровня 3 MTP (например, ISUP, SCCP). Подсистема SCCP может переносить сообщения своих пользователей (TCAP или INAP) с помощью либо протокола M3UA, либо другого продукта группы Sigtran – протокола SUA, который рассматривается ниже.

Протокол M3UA используется между шлюзом сигнализации и контроллером транспортного шлюза или базой данных IP-телефонии. Он расширяет доступ к услугам уровня 3 MTP шлюза сигнализации, охватывая удаленные конечные пункты IP-сети.

24.5.3. Протоколы SUA и IUA

Протокол *SUA уровня адаптации для пользователей SCCP* поддерживает перенос по IP-сети (средствами протокола SCTP) сигнальных сообщений пользователей SCCP, например, TCAP или INAP, представленных в четвертой лекции на рис. 4.4 и в четырнадцатой лекции на рис. 14.2. По аналогии с этими двумя рисунками покажем пример применения SUA на рис. 24.4, где протокол SUA используется между шлюзом сигнализации и конечным пунктом сигнализации IP-сети. Протокол SUA поддерживает как услуги SCCP без соединения с неупорядоченной и упорядоченной доставкой, так и услуги, ориентированные на соединение, с управлением или без управления потоком данных и с обнаружением потерь сообщений и ошибок вследствие несвоевременной доставки сообщений (то есть классы услуг SCCP с 0 по 3). В случае услуг без соединения протоколы SCCP и SUA взаимодействуют в шлюзе сигнализации.

С точки зрения пункта сигнализации ОКС7 пользователь SCCP находится в шлюзе сигнализации. Сообщения ОКС7 направляются к этому шлюзу на основании анализа кода пункта сигнализации и номера подсистемы SCCP, а тот направляет сообщения SCCP к удаленному конечному пункту IP-сети.

Протокол уровня адаптации для ISDN-пользователя (IUA) поддерживает перенос через сеть IP сообщений Q.931. Протокол IUA исключает использование в системе сигнализации части протокола MTP и позволяет приложениям верхнего уровня непосредственно взаимодействовать с транспортным протоколом SCTP.

В заключение этой лекции отметим, что Sigtran является не единственной рабочей группой IETF, участвующей в определении новых протоколов для обеспечения конвергенции сетей ТфОП и IP. Следует еще упомянуть группу *PINT (PSTN and Internet Interworking)* взаимодействия ТфОП и Интернет и группу услуг *SPIRITS (Service in the PSTN/IN Requesting Internet Service)*.

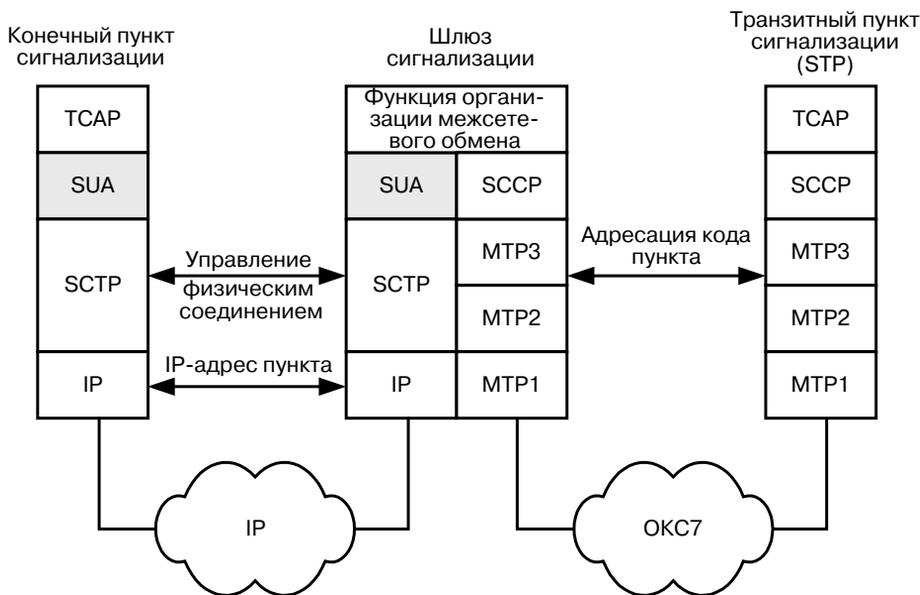


Рис. 24.4. Пример применения протокола SUA

Согласно PINT услуги ТфОП активизируются путем запросов из сети IP, когда клиент SIP создает запросы инициирования телефонных вызовов в ТфОП. Целью этого является обеспечение телефонной и факсимильной связи из Интернет.

В работах SPIRITS услуги сети IP активизируются путем запросов из ТфОП. SPIRITS обеспечивает такие услуги, как уведомление о поступлении нового вызова в сети Интернет, предоставление идентификатора вызывающего абонента из сети Интернет и переадресация IP-вызовов.

Рабочая группа *IPTEL* разрабатывает протокол *TRIP (Telephony Routing over IP)* маршрутизации телефонных вызовов по сети IP. Этот протокол информирует серверы адресов о доступности телефонных адресатов и обеспечивает атрибуты маршрутов к этим адресатам. Протокол TRIP позволяет обмениваться информацией маршрутизации, используя стандартные протоколы IP.

Результаты рабочей группы *ENUM* в составе IETF, разрабатывающей схему преобразования телефонных номеров E. 164 в IP-адреса, мы рассмотрим в следующей лекции.



Ключевые слова: протокол инициирования сеансов SIP, стек TCP/IP, персональная мобильность, описание сеансов, протокол SDP, протокол управления шлюзами, протокол H.248, сигнализация H.323, привратник, устройство управления конференциями, протокол RAS, рекомендация H.225, рекомендация H.245, рабочая группа Sigtran, протокол SCTP, протоколы адаптации M2UA, M2PA и M3UA, протоколы SUA и IUA, PINT, SPIRITS, протокол TRIP.



Контрольные вопросы

1. Какие свойства протоколов SIP/1.0 и SCIP перешли в SIP?
2. На каких протоколах стека TCP/IP базируется SIP?
3. Объясните двойное наименование протокола MEGACO/H.248.
4. В чем заключается принцип декомпозиции шлюзов?
5. Назовите четыре основных сетевых элемента H.323.
6. Нарисуйте и объясните стек протоколов H.323.
7. Почему используются протоколы OKC поверх IP в стеке протоколов Sigtran?
8. Нарисуйте и объясните стек протоколов Sigtran.



Задачи и упражнения

1. Представьте подробное описание сценария SIP-телефонии, показанного на рис. 24.1, с вызовом от User1@niits.ru, который зарегистрирован в area1.niits.ru, к User2@niits.ru, который зарегистрирован в area2.niits.ru, и описание сеанса связи с помощью протокола SDP.



Литература к лекции 24

- 24.1. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. SOFTSWITCH. – СПб.: БХВ-2007

Лекция 25

Системы адресации и маршрутизации в СПД

*Черная королева покачала головой:
«Вы, конечно, можете назвать это чушью,
но я-то встречала чушь такую, что в сравнении с ней
эта кажется толковым словарем».*
Л. Кэрролл

25.1. Нумерация и адресация

Недостатки адресации в IP-сетях, например, ограничения использованием только латинского алфавита, не столь существенны по сравнению с ограничениями телефонной нумерации, описанной в лекциях 5 и 15. Действительно, вряд ли телефонный номер, при всей его привычности, можно считать удобным средством определения абонента. И как только вместо клавиатуры телефона у пользователя оказалась компьютерная клавиатура, начали появляться более комфортные и эффективные средства идентификации. Разработка планов нумерации в сетях фиксированной и мобильной телефонной связи производилась с учетом ряда ограничений, среди которых следует выделить два аспекта.

Во-первых, на форму нового плана нумерации и на его функциональные возможности существенно влияют решения, принятые ранее. Во-вторых, устройства набора номера в терминалах телефон-

ной связи (особенно на начальном этапе создания ТФОП) и, главным образом, возможности оборудования коммутации не позволяли ввести удобный – с точки зрения абонентов – план нумерации.

Сеть Интернет с самого начала была свободна от этих ограничений, что стимулировало разработку принципов нумерации фактически с «чистого листа».

В сети Интернет вместо термина «нумерация» введено понятие «адресация». Формально, цели нумерации и адресации сходны. С другой стороны, различия функций, реализуемых в системах нумерации и адресации, весьма существенны. Правда, процессы конвергенции сблизили операции, выполняемые абонентами при работе в сетях телефонной связи (преимущественно, в СПС) и в Интернет.

Например, выбор в записной книжке телефонного аппарата имени вызываемого абонента очень похож на аналогичную процедуру заполнения поля «Кому» для последующего составления письма, отправляемого по «электронной почте». Однако действия сетевого оборудования в этих двух случаях будут заметно отличаться друг от друга.

25.2. Принципы назначения адресов в сетях IP

В лекции 23 приведено описание заголовка протокола IP версии 4 (IPv4), включающего в себя IP-адрес. Для записи адресов отправителя и получателя в заголовке выделены два поля одинаковой длины – одно поле для записи адреса отправителя, второе – для записи адреса получателя; длина каждого поля равна 4 байтам или 32 битам.

Полный IP-адрес включает в себя *адрес сети (идентификатор сети, netid)* и *адрес хоста (идентификатор хоста, hostid)*. IP-адрес может быть представлен как в *двоичном*, так и в *десятичном формате* с разделением точками. В примере, рассматриваемом ниже, IP-адрес записан в десятичном формате: первая часть адреса (два байта) представляет собой сетевой адрес, вторая часть (следующие два байта) – адрес хоста. Например, адрес

136.104.53.11

соответствует сети, идентифицируемой сетевым адресом 136.104.0.0 (netid) и адресом хоста 0.0.53.11 (hostid) внутри этой сети.

Для данного примера IP-адрес в двоичном формате будет иметь следующий вид (байты разделяются пробелом):

10001000 01101000 00110101 00001011

Кроме того, предполагается возможность представления адреса в шестнадцатеричной системе.

Адресное пространство Интернет разделяется по *Классам адресов* А, В, С, D и Е с разным числом битов, выделяемых на сетевые адреса и адреса хостов в каждом классе. Разделение сетей по классам определяется первыми несколькими битами сетевого адреса в двоичной системе.

Класс А идентифицируется первым битом сетевого адреса, равным «0». Класс А имеет только 7 битов для своих сетей, что означает возможность получения адресов для $2^7 - 2 = 126$ «больших» сетей; идентификатор хоста задается 24 битами, что определяет $[2^{24} - 2]$ адресов хостов. Вычитание «2» в этих вычислениях определяется тем, что адреса, в которых все биты – единицы и в которых все биты – нули, резервируются. В качестве примера адресов класса А можно привести адреса, полученные такими организациями, как IBM (9.0.0.0), ARPANET (10.0.0.0) и AT&T (12.0.0.0).

Класс В идентифицируется двумя первыми битами, равными «10». Класс В имеет 14 битов для адресов, принадлежащих этому классу «средних» сетей ($[2^{14} - 2]$ адресов). Для адресов хостов используются 16 битов ($[2^{16} - 2]$ адресов).

Класс С идентифицируется первыми тремя битами, равными «110». Адреса сетей Класса С задаются 21 битом и только 8 битов определяют адреса хостов, то есть только 254 хоста могут быть определены в сети Класса С.

Класс D идентифицируется четырьмя битами первого байта адреса, равными «1110». Оставшаяся часть сетевого адреса (4 бита) соответствует 14 сетевым адресам, разделяемым большим числом хостов ($[2^{16} - 2]$ адресов). Класс D используется для передачи датаграмм к оконечным устройствам в режиме селективного вещания (*multicasting*, *мультикастинг*). В отличие от обычного вещательного режима, когда один источник передает информацию всем достижимым получателям, селективное вещание (или мультикастинг) предполагает вещание только определенным получателям.

В последние годы был добавлен еще один класс – Класс Е, идентифицируемый пятью первыми битами сетевого адреса, равными «11110». Этот класс резервируется для будущего использования.

Систематизация адресного пространства в первых трех Классах А – С позволяет формировать сети разного размера и конфигурации, начиная от небольшого числа сетей (126) и практически неограниченного числа хостов (16,8 миллиона) в Классе А (предполагается, что Классу А принадлежат большие территориально разнесенные сети) до большого числа сетей в Классе С (более 2 миллионов), каждая из которых имеет до 254 хостов, что соответствует размерам локальных сетей.

Общее число адресов, доступных в первых трех Классах А – С, составляет величину порядка 4 миллиардов. Это число адресов в настоящее время перекрывает количество пользователей: в 2000 году число пользователей составляло 110 миллионов, в 2001 году – 200 миллионов, в 2008 году число пользователей достигло 1,2 миллиарда. На заре Интернет, когда число сетей и пользователей было относительно невелико, адреса Классов А и В раздавались свободно организациям, которые не могли целиком заполнить адресное пространство и, таким образом, часть адресов, выделенных для хостов, оказалась неиспользованной. В то же время быстрый рост числа хостов приводит к необходимости более эффективного и экономного использования адресного пространства.

На начальном этапе развития сетей IP использовался *принцип фиксированной границы* между частями адреса, соответствующими адресу сети и адресу хоста. В этом случае каждая из сетей, независимо от ее класса (А, В, С, D), получает максимальное число адресов хостов. При таком жестком подходе задача удовлетворения требований к адресному пространству со стороны больших и малых организаций не может быть успешно решена. Например, очевидно, что не все организации, получившие на начальном этапе развития сетей Интернет адреса Класса А, имеют достаточное число хостов, чтобы заполнить пространство, включающее в себя около 17 миллионов хостов. В то же время, в сетях Класса С часто возникают ситуации, когда число хостов (не более 254 пользователей) становится явно недостаточным.

Со второй половины 90-х годов XX века подход, основанный на фиксированной границе между адресом сети и адресом хоста, был постепенно заменен подходом, использующим концепцию так называемой маски сети (подсети). Маска представляется в десятичной или в двоичной форме. В случае двоичного представления маска содержит группы единиц в тех разрядах, которые в IP-адресе соответствуют номеру сети (netid). Чтобы получить адрес сети, зная IP-адрес и маску подсети, необходимо применить к ним операцию поразрядной конъюнкции (логическое И). Рассмотрим пример получения адреса сети, когда IP-адрес и маска представлены в двоичной форме:

IP-адрес: 11000000 10101000 00000001 00000010 (192.168.1.2)

«И»

Маска сети: 11111111 11111111 11111111 00000000 (255.255.255.0)

Адрес сети: 11000000 10101000 00000001 00000000 (192.168.1.0)

Для стандартных классов сетей маски имеют следующие значения:

- Класс А – 11111111 00000000 00000000 00000000 (255.0.0.0);

- Класс В – 11111111 11111111 00000000 00000000 (255.255.0.0);
- Класс С – 11111111 11111111 11111111 00000000 (255.255.255.0).

Подход к назначению адресов с использованием масок позволяет отказаться от деления на классы и делает систему распределения адресов достаточно гибкой. При использовании маски сетевой администратор может разбить адресное пространство сети, выделенное ему провайдером, на несколько подсетей, не требуя от провайдера дополнительных адресов.

Концепция масок легла в основу *метода междоменной бесклассовой маршрутизации* (Classless Inter-Domain Routing, CIDR). Более подробно о методе CIDR можно прочесть в дополнительной литературе к этой лекции.

Для удобства пользователей в сетях Интернет широко используются имена хостов, понятные пользователю, например, *info@mail.ru*. Имена, и адреса должны быть уникальными, при этом сетевые адреса являются глобально уникальными, тогда как адрес хоста является уникальным внутри сети, за которой закреплен этот хост.

Почему же в сети Интернет используются и имена, и адреса (скажем, в отличие от ТФОП, где используются только телефонные номера)? Имеется несколько причин таких решений.

Во-первых, необходимо, чтобы адреса могли быть прочитаны компьютерами, а для этого адреса должны быть представлены в цифровой форме. С другой стороны, имена в буквенной форме удобны для их чтения пользователями.

Во-вторых, имена хостов могут иметь переменную длину и быть довольно длинными. Если в сети использовать имена хостов в заголовках пакетов, поля отправления и назначения должны иметь переменную и, возможно, большую длину. Это приводит к неэффективному использованию сетевых ресурсов, а также к росту сложности маршрутизаторов, которые должны дешифровать имена, размещать их в таблицах маршрутизации и так далее. Использование адресов фиксированной длины в заголовках пакетов является более эффективным.

Остановимся на порядке назначения IP-адресов. Так же, как и телефонные номера в ТФОП и в мобильных сетях, адреса в больших сетях Интернет должны быть уникальными. Уникальность сетевых адресов определяется путем их централизованного распределения.

Центральным органом регистрации глобальных адресов в сетях Интернет является организация IANA (Internet Assigned Numbers Authority), действующая на некоммерческой основе.

Распределением сетевых адресов в крупных территориальных регионах занимаются некоммерческие организации, называемые *Regional Internet Registries, RIR*.

К 2008 году имелось 5 RIR для следующих регионов: Северная Америка; Европа, Ближний Восток и Центральная Азия; Азия и Тихоокеанский регион; Латинская Америка и Карибский регион; Африка. Здесь полезно упомянуть о частных адресах, рекомендуемых для автономного использования. Сети частных адресов назначаются в трех основных классах – А, В и С:

- Класс А – сеть 10.0.0.0 (вспомним, что это пространство адресов было выделено сети ARPANET);
- Класс В – 16 сетей в диапазоне 172.16.0.0 – 172.31.0.0
- Класс С – 256 сетей в диапазоне 192.168.0.0 – 192.168.255.0.

Эти частные номера выделены для использования в автономных системах, представляющих собой объединение нескольких сетей под управлением одной административной системы (как правило, принадлежащей поставщику услуг). Общее адресное пространство, охватываемое указанными адресами, достаточно велико. При этом, хотя адреса хостов в частных адресах могут совпадать с адресами сетей, назначаемых централизованно, специальные технологии обеспечивают бесконфликтное подключение хостов автономных систем к сети Интернет общего пользования. Примером такой технологии является технология *трансляции сетевых адресов* (Network Address Translation, NAT³⁸). Несмотря на кажущийся запас доступных адресов, число хостов (терминалов), претендующих на получение IP-адреса, постоянно растет за счет «умных» домашних устройств, обеспечивающих безопасность, контроль здоровья, бытовые услуги, работу домашних телевизоров и радиоприемников и так далее. Все это ведет к тому, что оставшееся пространство IP-адресов довольно быстро уменьшается.

По этой причине Комитет IETF, наряду с другими проблемами, начиная с 1998 года, занимается вопросами модернизации системы адресации, что привело к разработке новой, шестой версии протокола IP, известной как IPv6.

В *протоколе IPv6* длина адреса составляет 128 битов. Общее количество адресов достигает огромного, трудно представимого числа порядка 10^{38} .

Среди основных требований к новому протоколу отметим следующие: возможность сосуществования двух протоколов (IPv4 и IPv6), уменьшение числа сетевых классов для упрощения таблиц маршрутизации и ряд дополнительных функций (защита информации, поддержка качества обслуживания и обеспечение мобильности пользователей).

³⁸Детальное описание технологии NAT приведено в «Дополнительной литературе» к этой лекции).

25.3. Протоколы поддержки системы адресации

Протокол ARP (Address Resolution Protocol – протокол преобразования адресов, RFC 826) используется для однозначного отображения IP-адресов (A.B.C.D) в физические (аппаратные) адреса, по которым могут быть найдены хосты, расположенные в локальных сетях. Физический адрес хоста называется адресом MAC (Media Access Control).

Первоначально ARP применялся для перевода адресов IP в адреса Ethernet. Необходимость такого преобразования определяется тем, что IP-адреса назначаются независимо от физических адресов хостов.

В протоколе IPv4 длина адресного поля равна 32 битам, тогда как в технологии Ethernet длина адресов подключенных устройств равна 48 битам. Впоследствии ARP использовался для получения адресов практически всех типов проводных локальных сетей и для определения адресов в сетях «IP поверх ATM». В настоящее время протокол ARP применяется для определения адресов сетей стандарта IEEE 802.11.

Преобразование адресов производится в соответствии с таблицей, известной как кэш-таблица ARP. Кэш-таблица ARP устанавливает однозначное соответствие между адресом MAC и IP-адресом и обеспечивает преобразование адресов в обоих направлениях.

Протокол ARP работает следующим образом. Когда входящий IP-пакет, направляемый к определенному хосту в локальной сети, прибывает в маршрутизатор (шлюз), шлюз просит программу ARP отыскать физический хост или адрес MAC, соответствующий IP-адресу в пришедшем пакете. Протокол ARP просматривает кэш-таблицу ARP и, если находит искомый адрес, обеспечивает преобразование пакета в требуемый формат и передает его нужному хосту. Если для IP-адреса не найден соответствующий адрес MAC, протокол ARP передает в вещательном режиме специальный пакет запроса ко всем хостам локальной сети. В этом пакете заполнены все поля, кроме искомого физического адреса. Устройство, опознавшее свой IP-адрес, заполняет соответствующее поле и посылает заполненный пакет обратно к шлюзу. Поскольку протоколы разных локальных сетей (Ethernet, FDDI, маркерное кольцо и др.) отличаются друг от друга, протокол ARP может иметь различные форматы пакетов запроса.

Протокол RARP (Reverse Address Resolution Protocol, RFC 903) – обратный протокол преобразования адресов, обеспечивает зеркальную по отношению к протоколу ARP операцию, соответствующую случаю, когда известен физический (аппаратный) адрес хоста,

а IP-адрес неизвестен. Такая ситуация может возникнуть, например, если хост не имеет своей памяти и хранит данные на удаленном сервере. Запросы и ответы RARP обрабатываются аналогично пакетам ARP.

25.4. Принципы маршрутизации датаграмм в сетях IP

Маршрутизацией называется процесс выбора пути через сеть, по которому будет передаваться сетевой трафик. Процесс маршрутизации обеспечивается в сетях многих типов, в том числе в телефонных и транспортных сетях. В этой лекции мы рассматриваем процесс маршрутизации применительно к сетям Интернет.

В сети Интернет датаграммы передаются от источника к пункту назначения, используя адрес пункта назначения в адресном поле заголовка пакета. Как было отмечено выше, ключевым элементом сети Интернет является *маршрутизатор*, задачей которого является определение пути (маршрута), по которому будут передаваться датаграммы от источника к получателю. Маршруты делятся на две группы:

- *статические маршруты* (например, изменяющиеся по расписанию);
- *динамические маршруты*, вычисляемые с помощью алгоритмов маршрутизации на основе информации о топологии и состоянии сети, полученной с помощью *протоколов маршрутизации*.

Каждый маршрутизатор вдоль пути передачи пакетов формирует собственную *таблицу маршрутизации*, в которой задаются все возможные пути к другим маршрутизаторам и хостам в сети. Оптимальные маршруты определяются по числу маршрутизаторов на пути между источником и получателем (статическая маршрутизация) или по сетевым параметрам, таким как задержки, надежность, пропускная способность (динамическая маршрутизация).

Маршрутизатор считывает адрес назначения из заголовка поступившего пакета (который может быть как фрагментом, так и полной датаграммой) и использует таблицу маршрутизации для пересылки пакета к соответствующему выходному интерфейсу.

Размер *фрагмента* определяется размером кадра на уровне звена данных. Так, для протокола двухточечных соединений уровня PPP (одного из самых распространенных в сетях Интернет) и для Ethernet *максимальный размер кадра* (максимальный размер информационного блока на уровне звена данных) не должен превышать 1500 байтов (по сравнению с 256 байтами для протокола X.25).

На рис. 25.1 показан принцип фрагментации датаграмм.

Хост А сети А посылает датаграмму D к хосту В сети В. В том случае, если размер датаграммы превышает размер поля полезной нагрузки кадра, допустимого в маршрутизаторах, датаграмма фрагментируется (в нашем примере – на два фрагмента, D_1 и D_2). Фрагменты одной датаграммы передаются от маршрутизатора к маршрутизатору по независимым путям и затем собираются в маршрутизаторе, который относится к сети назначения В. Заголовок каждого фрагмента является копией заголовка исходной датаграммы, показанного черным цветом.

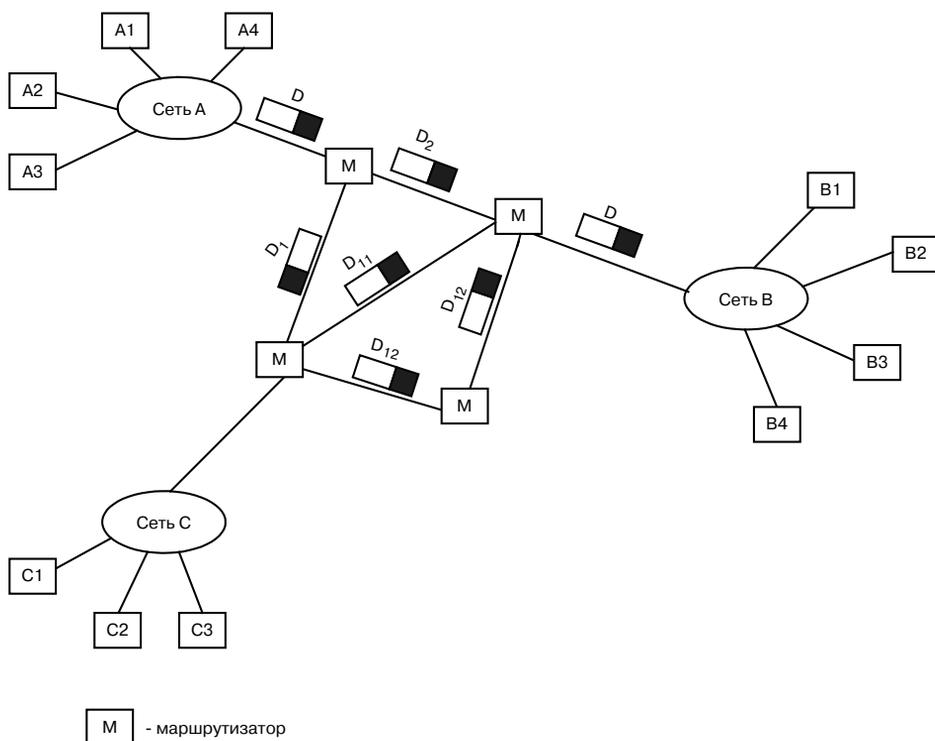


Рис. 25.1. Принцип фрагментации датаграмм

25.5. Протоколы маршрутизации

Протокол RIP (*Routing Information Protocol*) – протокол информации о маршрутизации, относится к динамическим протоколам маршрутизации. Протокол RIP обеспечивает обмен информацией между маршрутизаторами о маршрутах (путях передачи) и корректирует таблицы маршрутизации каждые 30 секунд.

Маршрутизатор, используя протокол RIP, передает маршрутную таблицу (в которой отмечены все известные маршрутизатору узлы) к ближайшему соседнему узлу. Соседний узел, в свою очередь, передает информацию к следующему соседнему узлу, пока все узлы внутри сети не получают одинаковую информацию о маршрутах.

Передача информации о маршрутах производится в форме пакетов, которые содержат набор дистанционно-векторных пар. Каждая пара (а, l) включает в себя адрес IP-сети ($a = A.B.C.D$) и число узлов l, которые необходимо пройти, чтобы достичь данную сеть. Выбор оптимальных путей производится по критерию числа маршрутизаторов, лежащих между источником и получателем (по числу переприемов).

Отметим, что RIP рассматривается как эффективный протокол только для небольших сетей, в частности, для сетей, в которых имеется не более 16 переприемов. Для сетей большего размера передача маршрутных таблиц каждые 30 секунд может привести к перегрузке сети, вызывающей большие задержки доставки датаграмм.

С учетом быстро растущих масштабов сетей Интернет даже при рассмотрении 16 переприемов объемы маршрутной информации, передаваемой по сети, становятся огромными. Как альтернатива дистанционно-векторного подхода был предложен протокол *OSPF (Open Shortest-Path First)* – протокол маршрутизации по принципу «кратчайший путь выбирается первым», эффективно решающий проблему перегрузки сетей служебной информацией.

Используя динамический протокол OSPF, маршрутизатор, который изменил таблицу маршрутизации или обнаружил изменения в сети, немедленно передает в вещательном режиме информацию ко всем соседним маршрутизаторам сети с тем, чтобы все они имели одну и ту же маршрутную таблицу.

В отличие от RIP, в соответствии с которым передается вся маршрутная таблица, в протоколе OSPF передается только та часть таблицы, в которой появились изменения. При этом информация передается не через 30 секунд, а только когда имеют место изменения в сети. Кроме того, в отличие от протокола RIP, в котором выбор путей основан на подсчете числа переприемов, в протоколе OSPF используется понятие «состояние звена»^{*}, которое учитывает такие параметры, как задержки, пропускная способность, надежность и другие.

«Состояние звена» с минимальной задержкой или максимальной пропускной способностью и определяет путь, выбираемый первым.

В протоколе OSPF маршрутизаторы группируются в независимые подсети, называемые *зонами*. В зонах информация о маршру-

^{*} Под звеном понимается один переприемный участок.

тах и периодическая их коррекция поддерживаются на локальном и автономном уровнях. Это позволяет определить виртуальные сетевые топологии, не принимающие во внимание незначительные и краткосрочные локальные детали, связанные с процессом маршрутизации.

Для передачи пакетов от одного источника по нескольким адресам в сетях Интернет используется *протокол IGMP (Internet Group Management Protocol, RFC 3376) – протокол групповой адресации*. Этот протокол обеспечивает многоадресную доставку информации по схеме «точка-группа точек» (мультикастинг). Как видно из раздела 25.2 этой лекции, *IP multicasting (или IP-вещание)* использует адреса Класса D.

Режим многоадресной передачи позволяет одному хосту передавать информацию набору других хостов, которые идентифицируют себя как члены такой группы. Когда новый хост желает войти в группу многоадресной рассылки, он посылает соответствующее сообщение IGMP, которое приходит на все маршрутизаторы, входящие в многоадресную группу.

Вещательные маршрутизаторы поддерживают информацию об участии хостов в вещательной сети, используя периодический опрос. Эта процедура выполняется очень короткими сообщениями с небольшим периодом (например, 60 секунд). Такое же простое подтверждение от хоста-участника достаточно, чтобы поддерживать режим вещания; при отсутствии подтверждения после определенного числа запросов вещание к данному хосту прекращается. Таким образом, протокол IGMP обеспечивает динамическое управление IP-вещанием с предотвращением перегрузок маршрутизаторов.

Многоадресный режим может применяться для таких приложений, как рассылка новостей в соответствии со списком, коррекция адресных книг удаленных пользователей и вещание программ потокового видео для пользователей, присоединившихся к многоадресной группе.

Протокол ICMP (Internet Control Message Protocol, RFC 792) – протокол межсетевых управляющих сообщений, используется для того, чтобы информировать передающую сторону о потере пакетов из-за отказов в системе маршрутизации.

Сообщения ICMP инкапсулируются в датаграммы IP. Данные, передаваемые в соответствии с протоколом ICMP, информируют источник о типах отказов, например, таких как недостижимость пункта назначения (хост не подключен к сети или попытка доступа была отменена из-за действия экрана защиты), перегрузка промежуточного маршрутизатора, превышение «срока жизни» датаграммы, некорректность установленных параметров IP-заголовка.

Протокол ICMP может также использоваться, чтобы информировать хост-источник о достижимости хоста-получателя. Такая процедура основана на принципе локации путем посылки эхо-запроса и получении эхо-ответа и реализуется с помощью программы, известной и в русскоязычной литературе как ping.

25.6. Концепция ENUM

Концепция ENUM (tElephone NUmber Mapping) предполагает, что можно обеспечить преобразование телефонного номера одной сети в номер или адрес, используемый в другой сети и обратное преобразование. Речь идет о правилах установления соответствия между номерами в ТФОП и номерами (адресами) в этих других сетях. Авторами концепции упоминаются, например, номера мобильных телефонов, факсимильных аппаратов, терминалов персонального радиовызова (paging), а также адреса Интернет и электронной почты.

Попытка унификации различных номеров (и адресов), используемых одним абонентом, предпринимается не впервые. В концепции «Универсальная персональная связь», разработанной ИТУ-Т, также предполагается использование единого номера для разных видов связи. Правда, эта концепция создавалась до активной экспансии сетей Интернет. По этой причине в ней не изложены современные варианты отображения номеров, назначаемых абонентам ТФОП согласно рекомендации ИТУ-Т E.164, в доменные имена сети Интернет.

С другой стороны, адрес IP состоит из целого числа байтов и определяется совокупностью цифр, то есть формально похож на номер абонента ТФОП. Задачей системы доменных имен и является преобразование таких имен в адреса IP. По запросу, содержащему *доменное имя хоста* (компьютера или другого сетевого устройства), система DNS сообщает маршрутизатору адрес IP.

Концепция ENUM обеспечивает пользователям возможность, набрав в окне Web-браузера (средство просмотра информации в сети Internet) номер телефона, найти соответствующий идентификатор URL (единообразный идентификатор ресурса), адреса IP или электронной почты. Способ входящей связи абонент может выбирать, указывая вид терминала, который будет участвовать в соединении. Концепция ENUM в настоящее время дорабатывается совместными усилиями IETF и ИТУ-Т.

Процедуры преобразования телефонных номеров сравнительно просты.

Например, международному номеру +7 (812) 315-4873 (Центральный музей связи имени А.С. Попова в Санкт-Петербурге) будет соответствовать такой IP-адрес: 3.7.8.4.5.1.3.2.1.8.7.e164.org.

Цифры международного номера записываются в противоположном порядке – начиная с последней. Это отражает принцип формирования доменных имен.

В отличие от кода страны в ТФОП (первая цифра номера) в IP-адресе аналогичные данные приводятся в самом конце. В частности, международные номера абонентов российской ТФОП начинаются с цифры «7», а домен «ru», также свидетельствующий о регистрации URL в нашей стране, помещается в самом конце IP-адреса. Домен «e164.агра» выделен для номеров всемирной телефонной сети. Обозначение «e164» указывает на рекомендацию ITU-T, которая посвящена плану нумерации в ТФОП.

Слово «агра» – название исторически первой сети с коммутацией пакетов, в которой передавались датаграммы (см. лекцию 23). Концепция ENUM может считаться характерным примером процессов конвергенции в сетях связи. Она обеспечивает возможность совместной работы сетей телефонной связи и Интернет, повышая их эффективность.



Ключевые слова: адресация в сетях Интернет, адрес сети, адрес хоста, классы адресов, маршрутизация, маска, бесклассовая междоменная маршрутизация, статическая маршрутизация, динамическая маршрутизация, маршрутизатор, таблица маршрутизации, оптимальный маршрут, система доменных имен, концепция ENUM.



Контрольные вопросы

1. Какую роль играют классы в системах адресации?
2. Что такое «фиксированная граница» в адресном пространстве?
3. С какой целью была введена маска сети?
4. Какие критерии используются для определения маршрутов при динамической маршрутизации?
5. Для каких целей используется кэш-таблица в протоколах маршрутизации?
6. Чем различаются протоколы RIP и OSPF?

7. С какой частотой передается информация о маршрутах в протоколах RIP и OSPF?
8. Как сеть узнает, что хост вышел из группы многоадресной передачи?
9. Для каких целей была разработана концепция ENUM?



Задачи и упражнения

1. Задан IP-адрес 234.32.115.10. Запишите этот адрес в двоичной системе. Определите класс адреса, адрес сети и адрес хоста.
2. Посчитайте, сколько сетей может быть задано в классе С.
3. Определите число сетей, выделенных для автономных систем.



Литература к лекции 25

- 25.1. В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. Компьютерные сети: Принципы, технологии, протоколы. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2008 – 958 с.

Лекция 26

Технологии поддержки новых услуг в сетях Интернет

*На словах только в любви объясняются, а о делах следует писать.
Петр Капица*

26.1. Услуги IP-коммуникаций

Передаче речи по сетям связи немногим более 100 лет. Передаче данных по сетям связи, включая голубиную почту, фельдъегерей их императорских величеств, телеграф, сеть X.25 и Интернет, гораздо больше. Совместно же применять оба названных в эпиграфе способов обмена информацией – объясняться на словах и писать о делах – стало возможно только 15 лет назад в единой универсальной IP-среде, когда к электронной почте добавилась технология *Voice over IP (VoIP)* или *IP-телефония*. Технологии, компоненты сетевой архитектуры и протоколы поддержки этой услуги рассматриваются в первой, большей части этой лекции (разделы с 26.2 по 26.8).

Наряду с услугой передачи речи поверх IP, в сетях Интернет развиваются услуги передачи мультимедийного трафика, включающего в свой состав видео, аудио, текст, графику и данные. Именно совокупность этих технологий привела к замещению уже ставшего привычным термина *IP-телефония* новым термином.

IP-коммуникации. Ни об IP-телефонии, ни, тем более, об IP-коммуникациях еще полтора десятка лет назад практически ничего не было известно. Сегодня одна из технологий – VoIP, сумела отобрать у фиксированных телефонных сетей примерно 20%

трафика и рассматривается как серьезный конкурент классической телефонии.

Другая технология – IPTV, находящаяся еще в начале развития, позволяет Операторам предоставлять перспективные мультисервисные услуги, связанные, в первую очередь, с возможностями доступа по требованию к разнообразному цифровому контенту. Поддержке услуги IPTV посвящается вторая часть лекции (разделы 26.9 и 26.10). Но начнем с технологий IP-телефонии.

26.2. Технология VoIP

Технология передачи речевой информации по IP-сетям существует уже более 10 лет, но только в последние годы она стала рассматриваться как альтернатива традиционной телефонной связи. Термин *IP-телефония* является общим термином, определяющим набор технологий на базе протокола Интернет для обмена речевыми и факсимильными сообщениями, которые до появления IP-телефонии передавались через телефонные сети.

За последние годы объем речевого трафика увеличился незначительно, в то время как трафик данных растет с очень высокой скоростью. Трафик и масштабы применения сетей IP все последние годы постоянно растут (число пользователей, объемы трафика, применимость для большого числа приложений), а в 90-х годах прошлого века к этому росту добавилась возможность передачи речевого трафика через Интернет.

Интерес к этой технологии на начальном этапе внедрения определялся более низкой стоимостью телефонных переговоров (особенно, междугородных и международных) при использовании сети IP для передачи речи благодаря эффективному разделению сетевых ресурсов. Однако стоимость не является главным фактором для того, чтобы новую технологию полностью приняли как пользователи, так и поставщики услуг.

Основным требованием здесь является уровень качества услуг, обеспечиваемый новой технологией, поскольку пользователи не согласятся на худшее качество передачи речи по сравнению с тем, которое они привыкли получать в ТфОП. В дополнение к уменьшению стоимости телефонных услуг есть все основания ожидать, что VoIP значительно ускорит продвижение на рынок новых мультимедийных услуг.

26.3. Основные функции, реализуемые в сети VoIP

Перед тем как перейти к описанию архитектуры системы передачи речи через сеть IP, обсудим основные процессы, реализуемые в технологии VoIP. Очевидно, что система VoIP должна выполнять по отношению к речевому сигналу те же функции, что и обычные телефонные сети. В число этих основных функций входят:

- *на передающей стороне* – преобразование аналоговой речи в цифровой сигнал и представление цифрового сигнала в формате, необходимом для передачи через сеть (в данном случае через сеть IP); последнее означает, что речевой сигнал инкапсулируется в пакеты протокола IP;
- *в сети IP* – управление обслуживанием телефонного вызова (создание соединения, поддержание речевого обмена, разъединение) и транспортировка пакетов;
- *на приемной стороне* – восстановление аналоговой речи из принятых пакетов и дискретного сигнала.

На рис. 26.1 иллюстрируется процесс обработки речевого сигнала при его прохождении через сеть IP. Здесь в виде блоков представлены перечисленные выше функции – кодирование, представление в форме пакетов IP, передача пакетов через сеть, разборка пакетов и восстановление аналогового речевого сигнала.

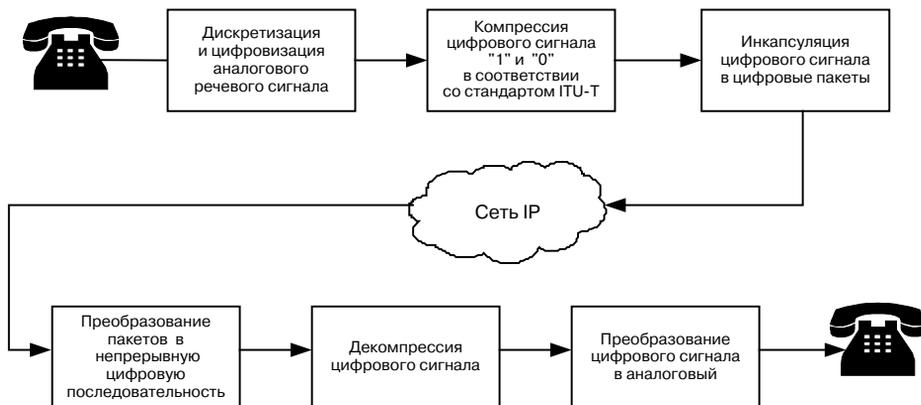


Рис. 26.1. Обработка речевого сигнала при его передаче в сети VoIP

Прежде всего, рассмотрим *преобразование речи на передающей и приемной сторонах*. Оба эти процесса реализуются *кодеками* (сокращенная форма сочетания *кодер-декодер*).

Отметим, что большинство методов такого кодирования основано на технологии ИКМ и характеризуется требуемой скоростью передачи, и, как следствие, занимаемой полосой пропускания. Типы кодеков различаются по названию соответствующего стандарта ITU-T, содержащего спецификацию того или иного кодека.

Исторически первый тип кодека, известный как G.711, преобразует аналоговый сигнал в цифровой с очень высоким качеством. Однако при этом требуется более высокая пропускная способность по сравнению с кодеками более поздних поколений, в которых обеспечивается эффективное сжатие информации. При создании первых кодеков (70-е годы XX столетия) технология современных цифровых сигнальных процессоров *DSP* была недоступна. Сегодня на базе *DSP* можно строить весьма эффективные кодеки со значительно меньшими требованиями к пропускной способности тракта передачи. Формирование пакетов IP из цифрового сигнала на передающей стороне и обратное преобразование на приемной стороне не отличается от аналогичных процессов в обычных сетях IP. Выходной сигнал кодека на передающей стороне представляет собой поток данных. Этот поток упаковывается в датаграммы IP (на что затрачивается определенное время), и затем датаграммы VoIP передаются к терминалу-приемнику, используя протоколы стека IP.

В табл. 26.1 приведен список некоторых наиболее распространенных типов кодеков, разработанных ITU-T. Здесь следует обратить внимание на компромисс между эффективностью кодирования, выражаемой через требуемую скорость передачи (и, соответственно, полосу пропускания), и задержками, возникающими при преобразовании. Влияние кодеков на качество обслуживания речевых сообщений в сетях IP будет обсуждаться в лекции 28.

Таблица 26.1. Параметры основных кодеков ITU-T

Кодек	Скорость передачи, кбит/с	Полоса пропускания для двунаправленного соединения, кГц	Задержка пакетизации, мс
G.711	64	174,4	1
G.726	32	110,4	1
G.729	8	62,4	25
G.723m	6,3	43,73	67,5
G.723a	5,3	41,6	67,5

Теперь перейдем к управлению обслуживанием вызова (соединение, поддержание речевого обмена и разъединение). По аналогии с телефонной связью в технологии VoIP необходимо установить соединение между абонентами. Это реализуется системой сигнализации, с помощью которой терминальные

устройства общаются в сети, активизируя и координируя работу сетевых элементов, необходимых для обслуживания вызовов. В сети VoIP сигнализацию обеспечивает обмен датаграммами IP между сетевыми компонентами. Основные протоколы сигнализации для систем VoIP рассмотрены в лекции 24. Соединение устанавливается между двумя оконечными пунктами, открывающими сеанс между собой. Идентификация этих пунктов производится через специальную базу данных. Как сеть ТФОП использует телефонные номера, чтобы идентифицировать оконечные пункты, так и сеть VoIP использует для этого IP-адреса, хранящиеся в базе данных, что подробно обсуждалось в предыдущей лекции. Транспортировка датаграмм VoIP выполняется путем последовательных переприемов пакетов речи в маршрутизаторах IP.

26.4. Архитектура сети VoIP

Основные компоненты сети VoIP реализуют функции, подобные функциям сети ТФОП, и позволяют сетям VoIP решать те же самые задачи, что и телефонная сеть. Вместе с тем, имеется ряд существенных различий между этими сетями, накладывающих определенные особенности на архитектуру сетей IP.

Отличие тракта передачи речи в системе VoIP от телефонного тракта состоит в том, что для реализации телефонных разговоров сеть IP должна включать в состав оборудования два специализированных устройства. Первое устройство, в зависимости от стандарта, на базе которого построена сеть VoIP, имеет несколько названий: *привратник*, *контроллер шлюзов*, *шлюз сигнализации*, *Softswitch*. Вместо всех этих названий может использоваться термин *сервер обработки вызовов*. Задача этого устройства состоит в передаче сигнальных сообщений из телефонной сети в сеть VoIP и наоборот. Второе устройство называется *медиашлюзом*. Основная функция медиашлюзов состоит в создании пакетов IP из речевого сигнала и в обратном преобразовании пакетов в речевой сигнал. В качестве терминальных устройств в системах VoIP, кроме *стандартных телефонов*, могут применяться *IP-телефоны* или устройства на базе персональных компьютеров.

26.5. Сервер обработки вызовов

Основным компонентом системы VoIP является сервер обработки вызовов, в котором терминируются все сигнальные сообщения. Установление/разрушение соединений и передача полезной речевой нагрузки реализуются с помощью сигнального механизма. За исключением речевого трафика, направляемого к другому серверу обработки вызовов, это устройство не обрабаты-

вает полезную нагрузку пакетов VoIP. Полезная информация, которой обмениваются между собой терминальные устройства, переносится между терминалами в соответствии с протоколами UDP/RTP (протокол UDP был описан в лекции 23, протокол RTP будет рассмотрен ниже в этой лекции).

Сервер обработки вызовов обеспечивает также преобразование между системой адресации, используемой в сетях IP, и телефонной нумерацией, определенной в рекомендации E.164 ИТУ-Т, что обсуждалось в предыдущей лекции. Серверы обработки вызовов обычно реализуются в виде программного продукта на платформе маршрутизатора IP, но могут быть выполнены в виде автономного устройства. На рис. 26.2 показан сервер обработки вызовов с соответствующими сигнальными протоколами.

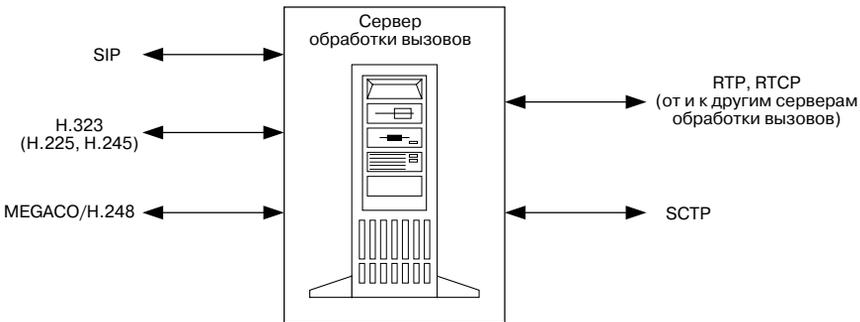


Рис. 26.2. Сервер обработки вызовов с основными сигнальными протоколами VoIP

26.6. Шлюз

Как было отмечено выше, основной функцией шлюза VoIP является преобразование речевого сигнала в форму пакетов VoIP и передача пакетов через сеть IP. Каждый телефонный разговор является сеансом IP, в котором полезная информация переносится с помощью протоколов UDP/RTP. В том случае, когда вместо терминального устройства используется обычный телефонный аппарат, шлюз выполняет функции кодека: обеспечивает аналого-цифровое преобразование, компрессию речи, подавление эхо и пауз в речевом сигнале. Шлюзы могут быть выполнены в виде специализированного оборудования или быть реализованы программно на базе персонального компьютера. На рис. 26.3 показан шлюз с соответствующими сигнальными протоколами.

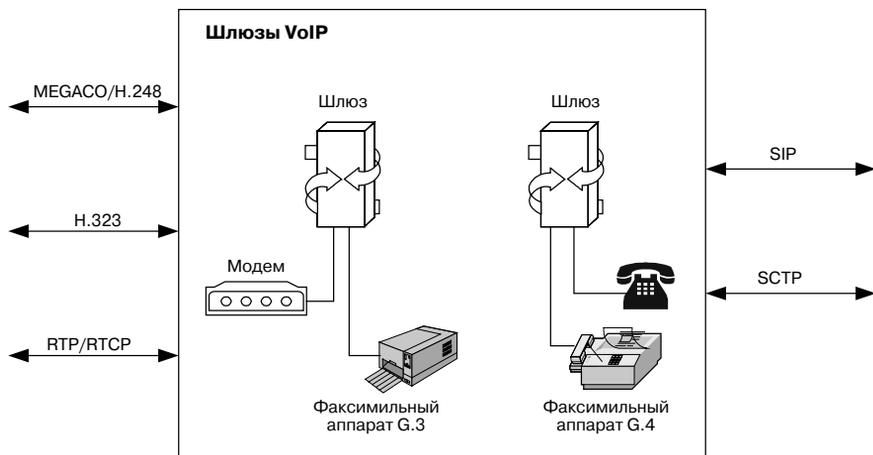


Рис. 26.3. Шлюзы с основными сигнальными протоколами

Шлюзы, в зависимости от выполняемых ими функций, делятся на две большие группы:

- магистральные (транкинговые) шлюзы, обеспечивающие интерфейс между телефонной сетью и сетью VoIP; магистральные шлюзы, как правило, обрабатывают информацию в большом числе цифровых каналов;
- шлюзы доступа, поддерживающие интерфейс аналоговой части сети с сетью VoIP.

26.7. Особенности использования сети IP для передачи речи

Особенности использования сети IP для передачи речи связаны с тем, что инфраструктура IP должна гарантировать доставку речевых и сигнальных пакетов к элементам системы VoIP. Сеть должна обрабатывать трафик речи и трафик данных разными способами. Если в сети IP передается трафик обоих видов, необходимо обеспечить приоритетное обслуживание трафика речи. Существует определенное соответствие между компонентами сети VoIP и телефонной сети, однако имеется гораздо больше различий. В сетях ТФОП используется принцип коммутации каналов, что означает выделение каналов с гарантированной полосой пропускания для каждого сеанса связи. Сети IP используют коммутацию пакетов, в основе которой лежит возможность статистического уплотнения. Введение понятия *класс обслуживания* предполагает, что пакеты, принадлежащие определенным приложениям, имеют заданный приоритет. Введение приоритетной системы требуется для прило-

жений реального времени (VoIP), чтобы гарантировать, что на речевой трафик не будет влиять трафик другого типа.

26.8. Протокол RTP

Транспортный протокол реального времени RTP (Real-time Transport Protocol), описанный в RFC 1889 и RFC 1890, поддерживает услугу сквозной доставки данных, передаваемых в реальном времени, таких как интерактивный трафик аудио и видео. Протокол RTP обеспечивает идентификацию типа полезной нагрузки, нумерацию последовательности пакетов, присвоение меток времени и контроль доставки. В протоколе предусмотрены следующие функции:

- обнаружение ошибок;
- защита информации;
- контроль времени пребывания пакета в сети;
- идентификация схемы кодирования;
- контроль доставки.

Для доставки речевого трафика шлюзы VoIP используют протокол RTP. В системах VoIP протокол RTP используется поверх протокола UDP и относится к протоколам, не ориентированным на соединения. Несмотря на это свойство, протокол поддерживает систему упорядочения пакетов, что позволяет обнаруживать потерянные пакеты. Протокол RTP может использоваться поверх любого другого транспортного протокола, в том числе, ориентированного на установление соединений (например, протокола TCP).

Протокол RTP работает вместе с протоколом управления *RTCP (RTP Control Protocol)*, периодически предоставляющим управляющую информацию для протокола RTP. Протокол RTCP обеспечивает передачу пакетов управления к участникам сеанса VoIP. Основная функция протокола состоит в том, чтобы информировать участников об уровне качества обслуживания, поддерживаемом протоколом RTP. Протокол RTCP собирает информацию о числе переданных и потерянных пакетов, о значениях задержки и джиттера. Например, получив информацию о снижении показателей качества обслуживания, механизмы контроля QoS могут ограничить поток сообщений VoIP. После восстановления требуемых значений показателей QoS интенсивность потока может восстановиться.

На рис. 26.4 показана общая схема организации сеанса VoIP. Пользователь вызываемого ТА набирает номер вызываемого ТА, и шлюз на передающей стороне с помощью сигнальных сообщений информирует *сервер обработки вызовов (ОВ)* о входящем вызове. Сервер ОВ анализирует принятый номер и, используя сигнальные сообщения, информирует шлюз на приемной стороне о поступле-

нии вызова. Затем сервер ОВ дает команду шлюзам установить прямое соединение RTP через сеть IP. Шлюзы открывают сеанс RTP, когда пользователь ТА пункта назначения поднимает трубку. В зависимости от выбранной системы сигнализации в качестве сервера ОВ могут использоваться *привратник* (H.323, ITU-T), *контроллер шлюза* (MEGACO/H.248, IETF, ITU-T) или *прокси-сервер* (SIP, IETF RFC 3261).

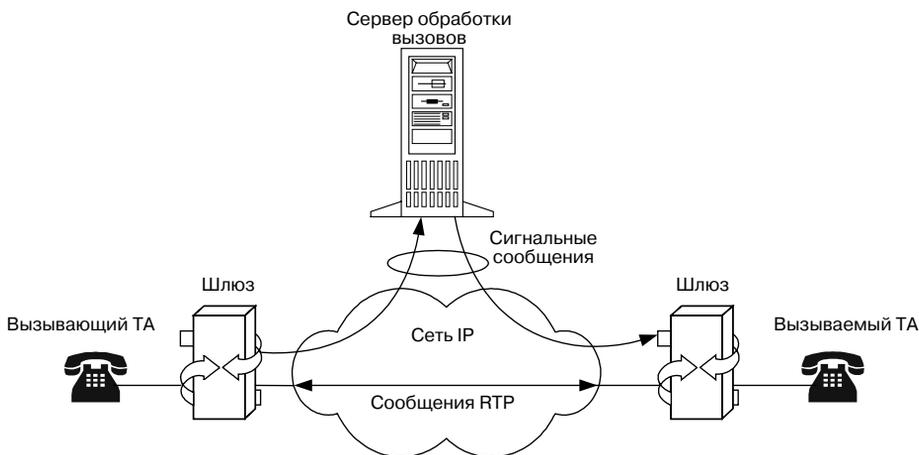


Рис. 26.4. Общая схема организации сеанса VoIP

26.9. Определение и основные свойства IPTV

Технология IPTV (IP Television) представляет собой технологию доставки мультимедийных услуг (ТВ, аудио/видео, текст, данные, графика) на базе сетей IP в интерактивном режиме и в режиме вещания. Технология IPTV характеризуется следующими основными свойствами.

- *Поддержка интерактивного ТВ.* Возможности IPTV поддерживать двунаправленную передачу позволяют Оператору/Провайдеру обслуживать широкий спектр интерактивных приложений: стандартное телевидение, телевидение высокой четкости, интерактивные игры, высокоскоростной доступ к Интернет.
- *Персонализация.* Система IPTV поддерживает двухстороннюю связь и позволяет пользователям самостоятельно решать, что и когда они хотят смотреть (например, услуга *видео по требованию VoD (Video on Demand)* – трансляция фильмов из видеосервера Оператора по заказу абонента).
- *Отложенный просмотр (Time Shifting).* Комбинация IPTV с видеомангитофоном обеспечивает механизм для записи контента IPTV для последующего просмотра.

- *Доступность услуг IPTV при использовании терминалов разных типов.* Просмотр контента IPTV не ограничивается только телевизионными приемниками. Для доступа к услугам IPTV потребители могут использовать свои персональные компьютеры и мобильные устройства.

26.10. Архитектура IPTV

Архитектура системы IPTV в общем виде представлена на рис. 26.5. Архитектура включает в свой состав следующие функциональные блоки:

- *Источники контента.* Источник контента определяется как центр данных IPTV, принимающий видеоконтент от производителей (вещательные программы, фильмы, игры и т.д.). Затем контент кодируется и передается пользователям или накапливается в базе данных для услуг VoD.
- *Узлы услуг IPTV.* Узел услуг представляет собой компонент, принимающий видеопотоки в различных форматах. Эти видеопотоки затем инкапсулируются в пакеты для передачи в сеть IP.
- *Широкополосные сети.* Широкополосные сети, включающие в себя магистральные сети и сети доступа, характеризуются высокой пропускной способностью, высокими показателями качества обслуживания и распределительными возможностями. Важным свойством таких сетей является многоадресная рассылка (мультикастинг), которая необходима для надежного распределения потоков данных IPTV от узлов услуг к оборудованию пользователей. Магистральные сети IPTV реализуются на волоконно-оптических линиях, а в сетях доступа могут быть использованы разные широкополосные технологии – проводные и беспроводные.
- *Оборудование пользователя.* В состав оборудования пользователя IPTV входят средства, формирующие интерфейс с широкополосным сетевым окончанием. Здесь могут быть применены шлюзы, образующие домашние сети. Функциональный блок, терминирующий трафик IPTV в оборудовании пользователя, называется клиентом IPTV. Этот блок обычно реализуется в виде *ТВ-приставки (set-top box)*. Основные функции ТВ-приставки включают в свой состав установление соединения с узлом услуг, декодирование видеопотоков, отображение управления со стороны пользователя и подключение к монитору.



Рис. 26.5. Упрощенная архитектура системы IPTV

В сетях IPTV используется большой набор стандартов, разработанных разными международными организациями, в том числе ITU-T, ETSI, IETF, MPEG (Moving Picture Experts Group) и др. *Стандарты сжатия ТВ-сигнала* (семейство MPEG) позволяют уменьшить требуемую полосу пропускания в десятки и сотни раз. Наиболее распространенными *стандартами цифрового вещания* являются европейский стандарт DVB, американский стандарт ATSC и японский стандарт ISDB. Среди большого числа сетевых протоколов, поддерживающих предоставление услуг IPTV, назовем только некоторые из них: *транспортные протоколы* UDP, RTP и RTCP, *протоколы сигнализации* SIP, H.323, *протоколы маршрутизации* RIP, OSPF, *протокол многоадресной рассылки* IGMP.

В транспортных сетях используется, как правило, *технология MPLS*; технологии, применяемые в сетях доступа, определяются типом физической среды – *витая пара, коаксиальный кабель, волоконно-оптический кабель или беспроводная среда*.

В заключение этого краткого описания IPTV отметим, что услуги IPTV относятся к услугам *Triple Play*, в которых предусматривается доставка трафика всех трех видов – аудио, данных и видео в фиксированных сетях. В сочетании IPTV с мобильными сетями эта услуга превращается в *Quadruple Play*.



Ключевые слова: IP-телефония, IP-коммуникации, VoIP, кодек, управление обслуживанием вызова, шлюз, привратник, контроллер шлюза, сервер обработки вызовов, протокол RTP, протокол RTSP, технология IPTV, интерактивное ТВ, VoD, источник контента, узел услуг, широкополосные сети, оборудование пользователя, ТВ-приставка, стандарты сжатия, стандарты цифрового вещания, транспортные протоколы, протоколы маршрутизации.



Контрольные вопросы

1. По каким признакам различаются кодеки ITU-T?
2. Назовите основные функции сервера обработки вызовов VoIP.
3. Назовите основные функции шлюза VoIP.
4. Назовите основные функции магистрального шлюза и шлюза доступа.
5. Можно ли использовать протокол RTP для контроля качества обслуживания?
6. В чем разница между поддержкой интерактивного ТВ и персонализацией?
7. Опишите функции основных компонентов системы IPTV.



Задачи и упражнения

1. Длительность пакета IP в системе VoIP составляет 20 мс. Рассчитайте:
 - Количество пакетов в течение 1 с?
 - Сколько битов на один пакет требуется при использовании кодеков: G.711; G.729?
 - Сколько байтов на один пакет нужно для тех же кодеков?
2. Длина заголовка IPv4 = 20 байтов; длина заголовка UDP = 8 байтов; длина заголовка RTP = 12 байтов. С учетом длины заголовка протокола Frame Relay (6 байтов), используемого на уровне звена данных, рассчитайте требуемую пропускную способность для выбранных кодеков из табл. 26.1.



Литература к лекции 26

- 26.1. Гольдштейн Б.С., Пинчук А.В., Суховицкий А.Л. IP-телефония. 3-е изд. – М.: Радио и связь, 2006. – 336 с.
- 26.2. Тюхтин М.Ф. Системы Интернет-телевидения. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 320 с.

Лекция 27

Традиционные услуги в сетях Интернет

*Тот, кто знает, не говорит;
Тот, кто говорит, не знает.
Лао-Цзы*

27.1. Введение

Услуги для тех, кто говорит, мы подробно обсудили в лекциях 7 и 17 для фиксированных телефонных сетей и сетей подвижной связи, соответственно. Более того, в лекции 26 были рассмотрены услуги для тех, кто говорит и кто смотрит через Интернет – соответственно, услуги VoIP и IPTV. Здесь же сосредоточимся на услугах Интернет, которые можно рассматривать как традиционные.

Огромное число людей, а не только специалисты и студенты телекоммуникационных и информационных специальностей знают сегодня приложения, реализуемые в сети Интернет. В число этих приложений входят World Wide Web, WWW (Всемирная Паутина), электронная почта, обмен сообщениями через Интернет в реальном времени (так называемые chat rooms), потоковое видео, доступ к музыкальным сайтам. В случае использования WWW пользователь видит на экране компьютера страницы текста и графических объектов, нажимает кнопку мыши на выбранном объекте, о котором он хочет узнать больше, и соответствующая страница появляется на экране.

Другим приложением, пока еще не так популярным, как WWW, является услуга потокового видео. Потоковое видео предполагает, что источник и получатель имеют соответствующие устройства для

воспроизведения видеозаписей. Видеопоток пересылается от источника к получателю с использованием средств и протоколов Интернет. Эта услуга может рассматриваться как одно из приложений видео по требованию (Video on Demand).

Хотя здесь мы упомянули только два примера – загрузку страниц из Всемирной Паутины и потоковое видео, – эти примеры демонстрируют разнообразие приложений, которые могут быть созданы на базе протоколов TCP/IP, и говорят о сложности проектирования и эксплуатации сети Интернет. В этой лекции мы рассмотрим услуги, реализуемые в Интернет и ставшие сегодня уже классическими.

27.2. Протокол пересылки файлов FTP

Одним из методов доступа к удаленным файлам данных, расположенных на удаленном сервере, является передача копии файла по запросу клиента. В сетях Интернет для этой цели используется стандартный протокол *FTP (File Transfer Protocol)* – *протокол пересылки файлов*. Протокол FTP, являющийся одним из старейших протоколов (он был разработан в начале 70-х годов прошлого века), относится к протоколам уровня приложений и использует для передачи данных транспортный протокол TCP.

Протокол FTP используется для обмена файлами данных между клиентом (группой клиентов) и сервером, хранящим данные (сервером FTP), причем каждая оконечная точка имеет возможности передачи и запроса/получения файлов. Такими файлами могут быть тексты, графические изображения, звуки, видео и мультимедийная информация. Протокол FTP используется также для загрузки программного обеспечения в компьютер клиента (пользователя). С помощью FTP пользователь может корректировать получаемые файлы (удалять, переименовывать, копировать их и т.д.). На многих FTP-серверах существует каталог (под названием *incoming*, *upload* и т. п.), открытый для записи и обеспечивающий получение сервером файлов. Это позволяет пользователям пополнять сервер свежими данными.

Сеанс FTP инициируется клиентом, который должен выполнить определенную последовательность команд. Первая команда соединяет клиента с удаленным хостом. Вторая команда обеспечивает идентификацию пользователя путем передачи к хосту имени пользователя и его пароля. Затем клиент через каталог выбирает доступные файлы и определяет вид кода, в котором должна быть произведена передача файлов. После того как файлы скопированы, клиент отсоединяется от удаленного хоста.

До начала 90-х годов XX века на долю протокола FTP приходилось около половины трафика в сети Интернет. Протокол и сегодня

ня используется для распространения ПО и доступа к удаленным серверам и хостам, однако ему на смену быстро приходят методы доступа, основанные на технологии Всемирной Паутины (см. следующий раздел).

27.3. Протокол пересылки гипертекстовых сообщений HTTP и Всемирная Паутина

В 1989 году физик Томас Бернерс-Ли, работая в Европейском совете по ядерным исследованиям (CERN) в Женеве, предложил проект, теперь известный как Всемирная паутина (World Wide Web). Проект предполагал публикацию гипертекстовых документов, связанных между собой гиперссылками, что облегчило бы поиск информации для ученых CERN. Для реализации проекта Т. Бернерс-Ли разработал три основных инструмента, без которых нельзя представить себе современный Интернет – идентификаторы URI, протокол HTTP и язык HTML. В рамках проекта Т. Бернерс-Ли написал первую в мире программу Web-сервера и первый в мире гипертекстовый Web-браузер, названный World Wide Web. В 1991–1993 годах Бернерс-Ли усовершенствовал их технические спецификации, и IETF принял соответствующие стандарты. Официальным годом рождения Всемирной Паутины считается 1989 год.

Для идентификации ресурсов (зачастую – файлов или их частей) во Всемирной Паутине используются *единообразные идентификаторы ресурсов URI (Uniform Resource Identifier)*. Для определения местонахождения ресурсов в сети используются *единообразные локаторы ресурсов URL (Uniform Resource Locator)*. Адрес URL представляет собой стандартизованную строку символов, указывающую местонахождение документа или его части в Интернет. Строка начинается с указания типа протокола, за которым следует идентификатор конкретной информации – имя домена, которому принадлежит сервер, название организации и URL-путь (информация о месте размещения ресурса). Сегодня URL применяется для обозначения адресов почти всех ресурсов сети Интернет.

Всемирная Паутина обеспечила доступность ресурсов Интернет столь большому числу людей, что иногда выступает как синоним сети Интернет. С технической точки зрения полезно рассматривать WWW как множество клиентов и серверов, которые общаются с помощью единого протокола, известного как *HTTP (Hypertext Transfer Protocol)*. Для облегчения создания, хранения и отображения гипертекста во Всемирной паутине используется язык разметки гипертекста HTML (*Hypertext Markup Language*). Комбинация протоколов HTTP и HTML обеспечивает доставку текстов, графики, звука, видео и других мультимедийных файлов через глобальную сеть Интернет.

Всемирную Паутину образуют миллионы Web-серверов Интернет, расположенных по всему миру. *Web-сервер* представляет собой сервер, принимающий по протоколу HTTP запрос определенного информационного ресурса от клиента. Сервер находит соответствующий файл на локальном жестком диске и отправляет его по сети запросившему компьютеру, используя тот же протокол HTTP.

Для просмотра информации, полученной от Web-сервера, на клиентском компьютере применяется специальная программа просмотра документов в Интернет, называемая *Web-браузером*. Основная функция Web-браузера состоит в отображении гипертекста. С момента начала работ по созданию Всемирной Паутины было создано несколько видов Web-браузеров. Сегодня наиболее популярными Web-браузерами являются Internet Explorer, поставляемый вместе с Microsoft Windows, а также бесплатные браузеры Mozilla Firefox и Safari.

Для определения местонахождения ресурсов в сети используются, как было отмечено выше, адреса URL, через которые клиент получает доступ к Web-серверу. Адреса URL обеспечивают информацию о расположении объектов во Всемирной Паутине; эта информация выглядит подобно следующей записи:

http://www.seti.sut.ru

После того, как обычный документ преобразуется с помощью HTML-разметки в гипертекст, документ помещается в файл и становится доступным Web-серверу. Эти файлы называются *Web-страницами*. Набор Web-страниц образует *Web-сайт*.

В гипертекст Web-страниц добавляются *гипертекстовые ссылки* (или гиперссылки). Основное отличие доступа к файлам на базе HTTP от описанного выше доступа на базе FTP заключается в том, что файлы, представленные в формате HTML, могут содержать ссылки на другие файлы, которые могут быть извлечены из сети в рамках одного сеанса. Когда пользователь вводит запрос какого-либо файла, открыв определенный Web-сайт, он может перейти к другому файлу, не закрывая сеанс, а «щелкая» курсором по ссылке, расположенной в полученном файле. Гиперссылки помогают пользователям Всемирной Паутины легко перемещаться между ресурсами (файлами) вне зависимости от того, где находятся ресурсы – на локальном компьютере или на удаленном сервере.

Web-браузер реализует сеанс HTTP на базе протокола TCP. Браузер осуществляет четыре основных этапа сеанса HTTP: открытие соединения TCP, передача запроса к серверу, получение ответа от сервера и закрытие соединения. Первая версия HTTP (1.0) предполагала закрытие соединения после передачи ответа на один запрос. Очевидно, что с точки зрения использования

сетевых и серверных ресурсов это был неэффективный механизм. В последней версии HTTP (1.1) используется механизм *долговременного соединения* (*persistent connection*), когда клиент и сервер могут обмениваться множеством запросов/ответов в течение одного соединения TCP. Механизм долговременного соединения имеет ряд преимуществ, среди которых нужно отметить уменьшение количества управляющих сообщений, благодаря чему уменьшается нагрузка на сервер, и отсутствие фазы многократного открытия соединения TCP.

27.4. Протокол электронной почты SMTP

Электронная почта является одним из самых старых приложений в сетях IP. Сегодня обмен сообщениями через электронную почту используется миллионами людей ежедневно. Этот обмен, являющийся еще одной формой обмена данными между клиентом и сервером, реализуется с помощью *протокола SMTP* (*Simple Mail Transfer Protocol – простой протокол доставки почтовых сообщений*). Спецификация RFC 822 определяет две части сообщения – заголовок и тело. Обе части кодируются 7-разрядным кодом ASCII. Индивидуальные почтовые адреса имеют формат вида <username@domain> (имя пользователя@подсеть). Эти адреса почтовых ящиков распознаются на уровне SMTP.

Почтовое сообщение обычно передается от клиента (пользователя электронной почтой) к локальному серверу SMTP, который отвечает за доставку почты по запросам клиентов. Процесс обработки почты в сервере заключается в накоплении приходящих сообщений, каждое из которых содержит адреса отправителя, получателя, а также время отправления. Локальный сервер, получив исходящее сообщение, идентифицирует IP-адрес удаленного сервера SMTP в пункте назначения и производит попытку установить сеанс TCP с этим удаленным сервером. После того как соединение установлено, почтовое сообщение копируется в сервере назначения. Как только сервер-отправитель получает подтверждение успешной передачи, сообщение удаляется из памяти локального сервера. Затем удаленный пользователь может получить доступ к своему серверу и принять доставленное сообщение.

Нужно отметить следующее. При разработке протокола SMTP предполагалось, что электронная почта будет использоваться только для передачи простого текста. В 1993 г. спецификация RFC 822 была расширена для того, чтобы обеспечить передачу данных различных типов – аудио, видео, документов Word и других. Для этих целей используется *протокол MIME* (*Multipurpose Internet Mail Extension – многоцелевое почтовое расширение Интернет*). MIME определяет механизмы передачи различных типов информации

с помощью электронной почты, включая текст на языках, для которых используется кодирование, отличное от кода ASCII, а также музыку, графику и фильмы. Преобразование формата MIME обычно производится почтовыми серверами или клиентской почтовой программой при передаче и получении электронных сообщений.

В заключение отметим, что популярность электронной почты сегодня настолько высока, что она практически заменила протокол FTP для передачи данных всех типов в форме присоединенных файлов. Вместе с тем, следует иметь в виду, что для предотвращения перегрузок некоторые почтовые серверы ограничивают передачу файлов больших объемов (например, могут быть запрещены файлы объемом больше, чем несколько Мбайт).



Ключевые слова: протокол пересылки файлов, единый локатор ресурсов, URL, Всемирная Паутина, World Wide Web (WWW), HyperText Transfer Protocol (HTTP), Hypertext Markup Language (HTML), Web-сервер, Web-браузер, Web-страница, Web-сайт, гипертекстовая ссылка, электронная почта, протокол SMTP, протокол MIME.



Контрольные вопросы

1. Какая разница между HTTP и HTML?
2. Чем различаются Web-браузер и Web-сервер?
3. Для чего нужны гиперссылки?
4. Чем различаются версии протокола HTTP 1.0 и 1.1?
Почему использование HTTP 1.0 является неэффективным?
5. Для чего предназначен протокол MIME?
6. Информация каких видов может передаваться по электронной почте?



Задачи и упражнения

1. Нарисуйте диаграммы сеансов для протокола HTTP версий 1.0 и 1.1.



Литература к лекции 27

- 27.1. Семенов Ю.А. Протоколы Интернет. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001.–1100 с.

Лекция 28

Качество обслуживания в СПД

*Нетрудно свести лошадь к воде. Но если вы заставите ее плавать на спине – это значит, что вы чего-то добились!
(Законы Мерфи: первый закон Хартли)*

28.1. Основные проблемы качества обслуживания в сетях IP

В лекциях 8 и 18, посвященных ТФОП и СПС, уже отмечалось, что качество обслуживания QoS (Quality of Service) остается предметом активных исследований и стандартизации с момента создания сетей связи. За более чем столетний период своей работы Международный союз электросвязи внес существенный вклад в развитие различных аспектов концепции QoS, включая разработку норм и стандартизацию механизмов, обеспечивающих их поддержку. Применение IP-технологии стимулировало существенный пересмотр всей системы показателей QoS, а также механизмов поддержки высокого качества обслуживания в сетях NGN.

В отличие от технологий, рассмотренных в лекции 22 для СПД на базе виртуальных каналов и в лекциях частей 1 и 2, посвященных ТФОП и СПС, в классических сетях IP применяется метод доставки информации, не ориентированный на соединения – как на физические, так и на виртуальные. Этот метод основан на рассылке датаграмм. Качество доставки в традиционных сетях IP базируется на принципе *best effort*. Концепция *best effort* предполагает, что пользователи справедливо разделяют доступные сетевые ресурсы,

трафик передается со скоростью, максимально возможной при имеющейся нагрузке ресурсов сети, но при этом не гарантируется обеспечение любого предварительно заданного уровня качества обслуживания. Это означает, что нет гарантии в том, что пакет будет доставлен в требуемое время или что он вообще будет доставлен, причем – вне зависимости от вида трафика.

Концепция best effort была достаточно эффективной для приложений, где можно передавать данные не в реальном времени (например, электронная почта и передача файлов). Кроме того, известны примеры применения сетей IP для мультимедийных приложений, (потокосые данные (аудио/видео) и Web-трафик).

Однако как только возникает недостаток ресурсов, ведущий к увеличению вероятности потерь пакетов и росту их задержек, для приложений реального времени необходимые показатели качества обслуживания не могут быть обеспечены. Прежде всего, это объясняется основным принципом функционирования IP-сетей – передачей данных в датаграммном режиме. С появлением новых приложений, особенно приложений реального времени (интерактивная передача речи, видеотелефония и видеоконференции), вопрос о гарантированном качестве обслуживания в сетях IP становится одним из основных. Это объясняет, почему качество обслуживания в сетях IP является предметом постоянного внимания ITU, ETSI, IETF и других организаций стандартизации в электросвязи.

Таблица 28.1. Чувствительность различных приложений к сетевым характеристикам

Тип трафика	Уровень чувствительности к сетевым характеристикам			
	Полоса пропускания	Потери	Задержка	Джиттер
Речь	Средний	Средний	Высокий	Высокий
Электронная коммерция	Низкий	Высокий	Высокий	Низкий
Транзакции	Низкий	Высокий	Высокий	Низкий
Электронная почта	Низкий	Высокий	Низкий	Низкий
Telnet	Низкий	Высокий	Средний	Низкий
Поиск в сети «от случая к случаю»	Низкий	Средний	Средний	Низкий
Постоянный поиск в сети	Средний	Высокий	Высокий	Низкий
Пересылка файлов	Высокий	Высокий	Низкий	Низкий
Видеоконференция	Высокий	Средний	Высокий	Высокий
Мультикастинг	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий

Главным стимулом являются уже не раз упоминавшиеся в предыдущих лекциях (начиная с рис. 02 во вводной лекции) процессы *конвергенции*, в связи с чем необходимо в будущих IP-ориентированных сетях NGN разработать новые принципы распределения ре-

сурсов сетей и управления трафиком, которые будут гарантировать разные уровни качества обслуживания для большого числа разнообразных приложений, реализуемых конечными пользователями. При большом количестве приложений с существенно различающимися требованиями к рабочим характеристикам сети (смотри табл. 28.1 и 28.2) разделение ресурсов и процессы управления трафиком должны быть координированы.

28.2. Работы ITU-T по стандартизации QoS в IP-сетях

В 2002 году 13-я Исследовательская комиссия ITU-T опубликовала две рекомендации, касающиеся общего набора рабочих характеристик сетей IP и норм для этого набора. Рекомендация ITU-T Y.1540 описывает стандартные сетевые характеристики передачи пакетов в сетях IP. Рекомендация ITU-T Y.1541 задает нормы для характеристик и параметров, определенных в Рекомендации Y.1540.

28.2.1. Рекомендация ITU-T Y.1540

Следующие пять сетевых характеристик рассматриваются в Рекомендации ITU-T Y.1540 как наиболее важные с точки зрения степени их влияния на сквозное качество обслуживания (от источника до получателя):

- пропускная способность сети;
- надежность сети/сетевых элементов;
- задержка;
- вариация задержки (джиттер);
- потери пакетов.

Пропускная способность сети (или скорость передачи данных) определяется как эффективная скорость передачи, измеряемая в битах в секунду. В рекомендации ITU-T Y.1540 не приведены значения пропускной способности для разных приложений; но вместе с тем, отмечено, что параметры, связанные с пропускной способностью, могут быть определены с помощью рекомендации ITU-T Y.1221.

Надежность сети/сетевых элементов может определяться рядом параметров, из которых чаще всего используется коэффициент готовности, представляющий собой отношение времени работоспособности объекта к времени наблюдения. В идеальном случае коэффициент готовности должен быть равен 1, что означает 100%-ю готовность сети. На практике коэффициент готовности оценивается числом «девяток» в соответствии с уже приводившейся в лекции 18 табл. 18.1.

Параметры доставки пакетов IP. В общем, сеанс связи состоит из трех фаз – установления соединения, передачи информации и разъединения. В Рекомендации ITU-T Y.1540 из этих фаз рассматривается только вторая – фаза доставки пакетов IP. Такой подход отражает природу сетей IP, не ориентированных на установление соединений. Рекомендация ITU-T Y.1540 определяет следующие параметры доставки IP-пакетов.

Задержка доставки пакета IPTD (IP packet transfer delay) определяется как время $t_2 - t_1$ между двумя событиями – вводом пакета во входную точку сети в момент t_1 и выводом пакета из выходной точки сети в момент t_2 , где $t_2 > t_1$ и $t_2 - t_1 \leq T_{\max}$.

В общем, IPTD определяется как время доставки пакета от источника к получателю для всех пакетов. Средняя задержка доставки пакета IP определяется как среднее арифметическое задержек пакетов в выбранном наборе переданных и принятых пакетов. Рост нагрузки и уменьшение доступных сетевых ресурсов ведут к росту очередей в узлах сети и, как следствие, к увеличению средней задержки доставки.

Речевая информация и, отчасти, видеoinформация являются примерами трафика, чувствительного к задержкам, тогда как приложения данных, в основном, к задержкам менее чувствительны. Когда задержка доставки пакета превышает определенное значение T_{\max} , пакет отбрасывается. В приложениях реального времени (например, в IP-телефонии, в системах видеоконференций) это ведет к ухудшению качества речи.

Параметр v_k – **вариация задержки IP-пакета IPDV (IP packet delay variation)** между входной и выходной точками сети определяется как разность между величиной задержки x_k при доставке пакета с индексом k , и $d_{1,2}$ – минимальной величиной задержки доставки пакета IP для тех же сетевых точек: $v_k = x_k - d_{1,2}$. Вариация задержки пакета IP, называемая также **джиттером**, проявляется в том, что регулярно передаваемые пакеты прибывают к получателю в нерегулярные моменты времени. В системах IP-телефонии это, к примеру, ведет к искажениям звука и, в результате, к тому, что речь становится неразборчивой.

Коэффициент потерь IP-пакетов IPLR (IP packet loss ratio) определяется как отношение суммарного числа потерянных пакетов к общему числу переданных пакетов в выбранном наборе переданных и принятых пакетов. Если пакеты теряются, то при передаче данных возможна их повторная передача по запросу принимающей стороны. В системах VoIP пакеты, пришедшие к получателю с задержкой, превышающей T_{\max} , отбрасываются, что ведет к провалам в принимаемой речи.

Коэффициент искажений IP-пакетов IPER (IP packet error ratio) определяется как отношение суммарного числа пакетов, принятых с искажениями, к сумме успешно принятых пакетов и пакетов, принятых с искажениями.

28.2.2. Рекомендация ITU-T Y.1541

Рекомендация ITU-T Y.1540 определяет для параметров численные значения норм, которые должны выполняться в сетях IP при международных соединениях. Эти нормы разделены по классам QoS, которые определены в зависимости от приложений и сетевых механизмов, применяемых для обеспечения гарантированного качества обслуживания. В табл. 28.2 представлены нормы для определенных выше сетевых характеристик.

Таблица 28.2. Нормы для характеристик сетей IP с распределением по классам качества обслуживания

Сетевые характеристики	Классы QoS					
	0	1	2	3	4	5
Задержка доставки пакета IP, IPTD	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 с	Н
Вариация задержки пакета IP, IPDV	50 мс	50 мс	Н	Н	Н	Н
Коэффициент потерь пакетов IP, IPLR	1×10^{-3}	Н				
Коэффициент искажений пакетов IP, IPER	1×10^{-4}	Н				

Примечание: Н – не нормировано

Значения параметров, приведенные в табл. 28.2, представляют собой, соответственно, верхние границы для средних задержек, джиттера, потерь и искажений пакетов. Рекомендация Y.1541 устанавливает соответствие между классами качества обслуживания и приложениями:

- Класс 0 – Приложения реального времени, чувствительные к джиттеру и характеризующиеся высоким уровнем интерактивности (VoIP, видеоконференции);
- Класс 1 – Приложения реального времени, чувствительные к джиттеру, интерактивные (VoIP, видеоконференции);
- Класс 2 – Транзакции данных, характеризующиеся высоким уровнем интерактивности (например, сигнализация);
- Класс 3 – Транзакции данных, интерактивные;
- Класс 4 – Приложения, допускающие низкий уровень потерь (короткие транзакции, массивы данных, потоковое видео);
- Класс 5 – Традиционные виды приложений в сетях IP.

28.3. Механизмы обеспечения QoS в IP-сетях

Помимо определения сетевых параметров и спецификации норм для них, ИТУ-Т проводит в настоящее время работы по стандартизации архитектуры сетевых механизмов для поддержки качества обслуживания в IP-ориентированных сетях. При разработке архитектуры сетевых механизмов должен быть учтен тот факт, что различные услуги будут предъявлять разные требования к характеристикам сети. Например, для телемедицины точность доставки играет более существенную роль, чем суммарная средняя задержка или джиттер, тогда как для IP-телефонии джиттер и задержка являются ключевыми характеристиками и должны быть минимизированы.

В настоящее время определен начальный набор механизмов, структурированных в соответствии с тремя логическими плоскостями – плоскостью управления, плоскостью данных (информационной плоскостью) и плоскостью менеджмента.

28.3.1. Механизмы QoS в плоскости управления

Механизмы QoS контрольной плоскости оперируют с путями, по которым передается трафик пользователей.

Управление доступом при соединении (Call Admission Control, SAC). Этот механизм контролирует новые заявки на пропуск трафика через сеть, определяя, может ли вновь поступающий трафик привести к перегрузке сети или к ухудшению уровня качества обслуживания уже имеющегося в сети трафика.

QoS-маршрутизация (QoS routing). Маршрутизация обеспечивает выбор пути, который удовлетворяет требованиям к качеству обслуживания конкретного потока данных. Как правило, при вычислениях оптимального пути в QoS-маршрутизации учитывается или одна сетевая характеристика, или, максимум, две (производительность и задержка, стоимость и производительность, стоимость и задержка и т.д.).

Резервирование ресурсов (Resource reservation). В IP-ориентированных сетях наиболее типичным механизмом резервирования является механизм, базирующийся на протоколе RSVP, который рассматривается ниже в этой лекции.

28.3.2. Механизмы QoS в плоскости данных

Эта группа механизмов оперирует непосредственно с пользовательским трафиком.

Управление буферами узлов (Buffer management). Управление буферами (или очередями) состоит в управлении пакетами, стоящими в очереди на передачу. Основные задачи управления очередями – минимизация средней длины очереди при одновременном

обеспечении высокого использования канала, а также справедливое распределение буферного пространства между разными потоками данных. Сегодня распространены механизмы активного управления очередями; типичным примером является алгоритм *вероятностного заблаговременного обнаружения перегрузки RED (Random Early Detection)*. При использовании алгоритма RED поступающие в буфер пакеты отбрасываются на основании оценки средней длины очереди. Вероятность сброса пакетов растет с ростом средней длины очереди.

Предотвращение перегрузок (Congestion avoidance). Механизмы предотвращения перегрузок поддерживают уровень нагрузки в сети ниже пропускной способности сети. Обычный путь предотвращения перегрузок состоит в уменьшении трафика, поступающего в сеть. Как правило, команда уменьшить трафик влияет в первую очередь на низкоприоритетные источники. Одним из примеров механизма предотвращения перегрузок является механизм окна в протоколе TCP.

Маркировка пакетов (Packet marking). Пакеты могут быть маркированы в соответствии с определенным классом обслуживания. Маркировка обычно производится во входном узле, где в специальное поле заголовка (Type of Service в заголовке IP или DS-байт в заголовке DiffServ, см. ниже) вводится определенное значение.

Организация и планирование очередей (Queuing and scheduling). Цель механизмов этой группы – выбор пакетов для передачи из буфера в канал. Большинство дисциплин обслуживания (или планировщиков) основано на схеме «первый пришел – первый обслуживается». Для обеспечения более гибких процедур вывода пакетов из очереди был предложен ряд схем, основанных на формировании нескольких очередей. Среди них, в первую очередь, необходимо назвать схемы приоритетного обслуживания. Другой пример гибкой организации очереди – *механизм взвешенной справедливой буферизации WFQ (Weighted Fair Queuing)*, когда ограниченная пропускная способность на выходе узла распределяется между несколькими потоками (очередями) в зависимости от требований к пропускной способности со стороны каждого потока. Еще одна схема организации очереди основана на *классификации потоков по классу обслуживания CBQ (Class-Based Queuing)*. Потоки классифицируются в соответствии с классами обслуживания и затем размещаются в буфере в разных очередях. Каждой очереди выделяется определенная доля пропускной способности в зависимости от класса, и очереди обслуживаются по циклической схеме.

Классификация трафика (Traffic classification). На входе в сеть в узле доступа (пограничном маршрутизаторе) пакеты классифицируются для того, чтобы выделить пакеты одного потока,

характеризуемого общими требованиями к качеству обслуживания. Затем трафик подвергается процедуре *нормирования* (механизм *Traffic Conditioning*). Нормирование трафика предполагает измерение параметров трафика и сравнение результатов измерений с параметрами, оговоренными в контракте о трафике, известном как *соглашение об уровне обслуживания* (*Service Level Agreement, SLA*), которое рассматривается ниже. Если условия соглашения нарушаются, то часть пакетов может быть отброшена.

Управление характеристиками трафика (*Traffic shaping*). Управление характеристиками трафика предполагает контроль скорости и объема потоков, поступающих на вход сети. При прохождении через специальные формирующие буферы уменьшается пачечность исходного трафика, и его характеристики становятся более предсказуемыми. Известны два механизма обработки трафика – *Leaky Bucket* («дырявое ведро») и *Token Bucket* («ведро с жетонами»). Алгоритм *Leaky Bucket* регулирует скорость пакетов, покидающих узел. Независимо от скорости входного потока, скорость на выходе узла является постоянной. Когда «ведро» (буфер) переполняется, лишние пакеты сбрасываются.

В противоположность этому, алгоритм *Token Bucket* не регулирует скорость на выходе узла и не отбрасывает пакеты. Скорость пакетов на выходе узла может быть такой же, как и на входе, если только в соответствующем буфере («ведре») есть жетоны. Жетоны генерируются с определенной скоростью и накапливаются в «ведре». Алгоритм характеризуется двумя параметрами – скоростью генерации жетонов и размером «ведра» для них. Пакеты не могут покинуть узел, если в ведре нет жетонов. И наоборот, сразу пачка пакетов может покинуть узел, израсходовав соответственное число жетонов.

28.3.3. Механизмы QoS в плоскости менеджмента

Эта плоскость включает в себя механизмы QoS, имеющие отношение к эксплуатации, администрированию и управлению сетью применительно к доставке пользовательского трафика.

Измерения (Metering). Измерения обеспечивают контроль показателей обслуживания трафика – например, реальная скорость потока данных сравнивается с согласованной в SLA скоростью. По результатам измерений могут быть реализованы определенные процедуры, такие, как сброс пакетов и применение механизмов *Leaky Bucket* и *Token Bucket*.

Соглашение об уровне обслуживания SLA (Service Level Agreement). Соглашение SLA, называемое в ряде источников контрактом по трафику, представляет собой договор между пользователем и провайдером услуг. В соглашении SLA описываются основные

характеристики (профиль) трафика, формируемого в оборудовании пользователя, и параметры QoS, предоставляемые провайдером.

28.4. Основные модели обеспечения качества обслуживания в сетях IP

28.4.1. Модель предоставления интегрированных услуг

Процесс превращения сети Интернет в середине 90-х гг. из академической в коммерческую инфраструктуру, рост числа узлов и количества пользователей, применение сети Интернет для разнообразных приложений с разными требованиями к качеству обслуживания – все эти факторы определили быстрое развитие механизмов поддержки QoS. Комитет IETF разработал большой набор моделей и механизмов для обеспечения качества обслуживания в сетях Интернет.

Рабочая группа *интегрированные услуги (Integrated Services Working Group)* разрабатывала модель предоставления интегрированных услуг (*IntServ*), основанную на принципе интегрированного резервирования ресурсов. Модель IntServ была разработана для поддержки приложений реального времени, чувствительных к задержкам. Механизмы группы IntServ относятся к группе методов, гарантирующих «жесткое»^{*} качество обслуживания. Наиболее детально среди механизмов группы IntServ проработан протокол *RSVP (Resource ReSerVation Protocol)*, спецификация которого была принята Комитетом IETF в 1997 г.

Протокол RSVP. Протокол RSVP является наиболее известным представителем группы механизмов интегрированного обслуживания. По существу, RSVP представляет собой протокол сигнализации, в соответствии с которым осуществляется резервирование и управление ресурсами с целью гарантии «жесткого» качества обслуживания.

Резервирование производится для определенного потока IP-пакетов перед началом передачи этого потока. Идентификация потока (определение пакетов, принадлежащих одному потоку) производится по специальной метке, размещаемой в основном заголовке каждого пакета IP. После резервирования пути начинается передача пакетов этого потока, обслуживаемых во всем сквозном (от передающего до принимающего пользователя) соединении с заданным качеством.

Протокол RSVP является только протоколом сигнализации. Для обеспечения требуемого качества обслуживания на фазе переноса пакетов трафика он должен быть дополнен одним из существующих протоколов маршрутизации, а также набором механизмов управле-

^{*} «Жесткая» гарантия QoS предполагает обеспечение наивысших показателей качества.

ния трафиком, включающих в себя управление доступом, классификацию трафика, управление и планирование очередей и другие.

Несмотря на возможности протоколов группы IntServ, недостатки, заложенные в самом принципе модели IntServ (жесткие гарантии качества обслуживания, низкий уровень масштабирования), привели к необходимости создания более гибких механизмов обеспечения QoS. Поэтому во второй половине 90-х гг. прошлого века в IETF начались работы по созданию моделей и механизмов дифференцированного обслуживания.

28.4.2. Модель предоставления дифференцированных услуг

Модель дифференцированных услуг (*Differentiated Services, DiffServ*) разработана группой *Differentiated Services Working Group* Комитета IETF. Детальная спецификация модели DiffServ была опубликована в середине 1999 г. Основная идея механизмов DiffServ состоит в дифференцированном предоставлении услуг для набора классов трафика, различающихся требованиями к показателям качества обслуживания. Другими словами, методы DiffServ, в отличие от методов IntServ, обеспечивают относительное или «мягкое» качество обслуживания.

Как и в случае механизмов IntServ, для дифференцированного предоставления услуг широко применяются механизмы, входящие в состав рассмотренной выше архитектуры поддержки QoS в сетях IP. Одним из центральных понятий модели DiffServ является соглашение об уровне обслуживания, SLA, входящее в состав механизмов QoS на плоскости менеджмента. В модели DiffServ архитектура сети представляется в виде двух сегментов – пограничных участков и ядра. На входе в сеть в узле доступа (пограничном маршрутизаторе) пакеты классифицируются (механизм Traffic classification), и трафик нормируется (механизм Traffic conditioning).

При необходимости поток пакетов проходит через устройство профилирования (механизм Traffic shaping). Магистральные маршрутизаторы, составляющие ядро сети, обеспечивают пересылку пакетов в соответствии с требуемым уровнем QoS.

Требования к необходимому набору характеристик качества обслуживания задаются в специальном однобайтовом поле каждого пакета – в октете Type of Service (ToS) протокола IPv4 или в октете Traffic Class (TC) протокола IPv6. Отметим, что в модели DiffServ это поле называется DS-байтом. Содержание DS-байта определяет вид предоставляемых услуг.

Первые два бита определяют приоритет пакета, следующие четыре – требуемый класс обслуживания пакета в узле и два бита остаются неиспользуемыми. Класс обслуживания здесь означает механизм обработки и продвижения пакета из данного узла к следующему узлу (Per-Hop Behavior, PHB) в соответствии с необходимым

качеством обслуживания. Таким образом, с помощью поля DS можно определить до 32 разных уровней качества обслуживания.

В 1999 г. были определены два класса услуг для модели DiffServ. В документе RFC 2598 описан класс «срочной доставки» (Expedited Forwarding, EF), обеспечивающий наивысший из возможных уровней качества обслуживания (Premium Service) и применяемый для приложений, требующих доставки с минимальными задержкой и джиттером.

Второй класс обслуживания, получивший название «гарантированной доставки» (Assured Forwarding, AF), представлен в документе RFC 2597. Класс гарантированной доставки поддерживает уровень качества обслуживания более низкий, чем класс срочной доставки, но более высокий, чем обслуживание по принципу «best effort». Внутри этого диапазона QoS класс AF определяет четыре типа трафика и три уровня отбрасывания пакетов. Таким образом, класс AF обеспечивает возможность обслуживания до 12 разновидностей трафика в зависимости от набора требуемых показателей качества обслуживания.

Обработка пакетов в соответствии с определенными уровнем приоритета и типом трафика осуществляется специальными схемами обслуживания очередей, обеспечивающими контроль задержек и джиттера пакетов и исключение возможных потерь. Среди основных механизмов управления очередями отметим приоритетное обслуживание (Priority Queuing), взвешенное справедливое обслуживание (Weighted Fair Queuing) и обслуживание в соответствии с механизмом PHB (Class-Based Queuing).

Следует отметить, что механизмы DiffServ все же не могут гарантировать такой же уровень QoS, какой можно получить в цифровых телефонных сетях, базирующихся на коммутации каналов (например, в ISDN). Вместе с тем, можно ожидать, что в будущих сетях вес служб, требующих «телефонное качество», будет относительно небольшим, тогда как для приложений с менее критическими требованиями к QoS модели и механизмы дифференцированных услуг будут способны обеспечить необходимый уровень качества обслуживания.

28.4.3. Механизм многопротокольной коммутации по меткам (MPLS)

Еще одним механизмом обеспечения требуемых показателей качества обслуживания является *многопротокольная коммутация по меткам (Multi-Protocol Label Switching, MPLS)*. Технология MPLS представляет собой развитие технологии Tag Switching (коммутация по тегам или по меткам), разработанной компанией Cisco в середине 90-х годов прошлого столетия. Существо механизма Tag Switching состоит в следующем. Вначале каждый маршрутизатор

сети IP формирует маршрутные таблицы, используя стандартные протоколы маршрутизации (например, протокол OSPF). Затем каждому маршруту ставится в соответствие (генерируется) метка (label), которая может определять один маршрут или набор маршрутов. Набор меток формирует определенный аналог виртуального соединения, называемый «трактом, коммутируемым по меткам» (Label Switched Path, LSP). Таким образом, метки могут рассматриваться как определенный аналог идентификаторов виртуальных соединений в технологии ATM или идентификаторов логических каналов в технологиях Frame Relay или X.25. Сформированный набор меток соответствует определенному набору маршрутных таблиц.

В течение 1996-97 годов компании-производители маршрутизаторов для сетей IP предложили большое число вариантов схем коммутации по меткам, что привело к необходимости стандартизации механизмов этой группы. С этой целью в IETF в 1997 году была создана специальная рабочая группа MPLS. Первая спецификация MPLS была опубликована в 1999 году. Главная особенность технологии MPLS состоит в существенном упрощении процесса маршрутизации пакета за счет отказа от необходимости анализа IP-адресов в его заголовке. Это приводит к существенному уменьшению времени пребывания пакетов в маршрутизаторе и, как следствие, к возможности поддержки показателей QoS для различных видов трафика.

Принцип коммутации MPLS основан на обмене метками. Любой передаваемый пакет ассоциируется с определенным «классом эквивалентной пересылки» (Forwarding Equivalence Class, FEC). В узле, через который проходит LSP, каждый класс идентифицируется определенной меткой. Значение метки, размер которой составляет 32 бита, уникально для участка LSP между соседними узлами сети MPLS, через которые этот LSP проходит. Узлы MPLS называются маршрутизаторами LSR (Label Switching Router, LSR), коммутирующими по меткам. Маршрутизаторы LSR анализируют вместо заголовка пакета IP (160 битов) метку (32 бита), что приводит к существенному уменьшению времени пребывания пакетов в маршрутизаторе.

28.5. Оценка качества обслуживания в системах VoIP

28.5.1. Субъективные и объективные оценки качества обслуживания

При оценке качества услуг в сетях IP необходимо учитывать, что требования к сетевым характеристикам со стороны приложений данных и приложений, связанных с передачей речи, существенно различаются. Например, при передаче больших массивов данных

необходима большая полоса частот, при этом данные могут не быть критичными к задержкам. В противоположность этому, для приложений VoIP требуются относительно небольшие сетевые ресурсы, но эти приложения критичны и к задержкам, и к вариации задержек. Следует учитывать, что речевой трафик и трафик данных, передаваемые через сеть IP, не могут обрабатываться одинаково в силу ряда причин, в том числе таких:

- пакеты речи и данных различны по длине;
- пакеты речи и данных передаются с разными скоростями;
- пакеты речи и данных обрабатываются в узлах и доставляются получателю с использованием разных механизмов и протоколов;
- сообщения электронной почты или массивы данных могут быть задержаны на десятки минут без влияния на оценку качества обслуживания, тогда как задержки, равные нескольким сотням миллисекунд, могут привести к значительным искажениям речевого сигнала, доставленного с помощью технологии VoIP.

В течение многих лет объективные количественные оценки, которые определяли бы качество обслуживания с учетом того, как оно воспринимается пользователем, отсутствовали. Оценки качества обслуживания были субъективными (лекция 8, модель MOS). В 1998 году ITU стандартизовал E-модель, в которой были предложены объективные оценки качества, базирующиеся на измерении физических характеристик сетей и терминальных устройств. Эти оценки основаны на вычислении так называемого R-фактора, определяемого с использованием большого числа показателей, характеризующих как сеть, так и терминалы (задержки, потери, типы кодеков и т.д.).

Мы рассмотрим, как применяются R-фактор и модель MOS при оценке качества обслуживания в технологии VoIP.

28.5.2. Анализ искажающих факторов, влияющих на качество передачи речи в пакетных сетях

А. Влияние кодеков на качество пакетизированной речи

При обработке аудио (и видео) информации используются специальные устройства – кодеки. На передающей стороне кодек преобразует аналоговый сигнал в цифровой, и на приемной стороне кодек выполняет обратное преобразование. Сегодня имеется большой набор эффективных кодеков с различными характеристиками (смотри табл. 28.3).

Типы кодеков различаются по названию соответствующего стандарта ITU-T, содержащего спецификацию того или иного кодека. Первый из специфицированных тип кодека, известный как G.711, преобразует аналоговый сигнал в цифровой с очень высоким

качеством и без применения операции сжатия. Однако скорость передачи на выходе источника оказывается существенно выше скорости на выходе кодека, в котором осуществляется сжатие информации.

При создании первых кодеков (70-е годы прошлого века) технология современных цифровых сигнальных процессоров была недоступна. Сегодня на базе DSP можно построить весьма эффективные кодеки со значительно меньшими требованиями к пропускной способности тракта передачи. Меньшая скорость передачи информации означает, что можно организовать большее число телефонных соединений по одному и тому же тракту. Однако при этом уменьшается разборчивость речи, возрастают задержки, и качество речи становится более чувствительно к потере пакетов. В табл. 28.3 представлены характеристики кодеков, а в табл. 28.4 – оценки качества речи на базе R-фактора и модели MOS для некоторых типов кодеков ITU-T.

Таблица 28.3. Типы речевых кодеков и их характеристики

Кодек	Скорость передачи, кбит/с	Длительность датаграммы, мс	Задержка пакетизации, мс	Полоса пропускания двунаправленного соединения, кГц	Задержка в буфере джиттера, мс	Теоретическая максимальная оценка MOS
G.711	64	20	1	174,4	2 датаграммы, 40 мс	4,40
G.726-32	32	20	1	110,4	2 датаграммы, 40 мс	4,22
G.729	8	20	25	62,4	2 датаграммы, 40 мс	4,07
G.723m	6,3	30	67,5	43,7	2 датаграммы, 60 мс	3,87
G.723a	5,3	30	67,5	41,6	2 датаграммы, 60 мс	3,69

Таблица 28.4. Качество речи для кодеков различных типов (оценки на базе R-фактора и модели MOS)

Кодек	Скорость передачи, кбит/с	R-фактор	MOS
G.711	64	93,2	4,4
G.729	8	82,2	4,1
G.723.m	6,3	78,2	3,9
G.723.a	5,3	74,2	3,7

Б. Задержки и джиттер в сетях IP

Задержка доставки пакета речи. Речь представляет собой трафик, чувствительный к задержке, тогда как большинство приложений данных относительно устойчиво к задержке. Если задержка доставки пакета речи превышает определенное значение (нормированное в Рекомендациях ITU-T), пакет отбрасывается. В результате, при большом числе отброшенных пакетов качество речи ухудшается.

Какая же задержка допустима при пакетной передаче речи? В результате исследований качества речевого сигнала еще в 60-х годах XX века было установлено, что человек начинает чувствовать задержки речевого сигнала, превышающие 150 мс, и ощущает заметный дискомфорт, если задержка превышает 250 мс. Позднее, при поддержке ITU были проведены масштабные исследования влияния сетевой задержки на качество телефонного разговора. Эти результаты нашли отражение в Рекомендации ITU-T G.114, в соответствии с которой рекомендуемый порог задержки при передаче речи составляет 150 мс. Задержки выше 150 мс осложняют телефонный разговор, в частности, при этом значении задержки оба участника начинают говорить одновременно. При задержке 300 мс разговор распадается на фрагменты, которые невозможно связать в слитную речь.

Рассмотрим, какие факторы определяют суммарную величину задержки доставки пакета. Сквозная задержка доставки пакета D_d определяется как сумма четырех составляющих:

$$D_d = D_p + D_{пк} + D_{пр} + D_{бд},$$

где:

D_p – задержка распространения: время прохождения электрического сигнала либо в кабеле с медными проводниками или оптическими волокнами, либо в беспроводной среде. В вакууме время распространения сигнала составляет примерно 3,3 мкс/км, в случае кабелей с медными проводниками – примерно 4 мкс/км, в кабелях с оптическими волокнами – примерно 5 мкс/км.

Таким образом, в случае организации сеанса связи через спутник, находящийся на высоте 40 тыс. км, задержка прохождения сигнала между двумя земными станциями может составить порядка 270 мс; задержка распространения на трассе Москва – Владивосток по кабелю с медными проводниками равна примерно 40 мс, по волоконно-оптическому кабелю – 50 мс;

$D_{пк}$ – задержка пакетизации: время, которое необходимо затратить в кодеке для преобразования аналогового сигнала в цифровой и на формирование пакета. Чем ниже скорость сигнала на выходе кодека, тем выше задержка пакетизации (смотри табл. 28.3);

D_{PP} – задержка переноса пакета: время прохождения пакета через все устройства сети, расположенные вдоль пути передачи пакета, включая маршрутизаторы, шлюзы, сетевые экраны, сегменты сети с относительно малой пропускной способностью в условиях перегрузки и т.д.;

$D_{БД}$ – задержка на приемной стороне в буфере джиттера. Буфер джиттера используется для уменьшения вариации между моментами поступления пакетов на вход приемного устройства. Буфер может накапливать от одной до нескольких датаграмм. В соответствии с данными табл. 28.3 типичный буфер джиттера накапливает две датаграммы, и задержка $D_{БД}$ составляет от 20 до 30 мс в зависимости от типа кодека.

Очевидно, что задержка распространения, задержки в кодеке и в буфере джиттера являются постоянными величинами для выбранного пути передачи пакета, тогда как задержка переноса является случайной величиной, зависящей от условий в сети в той или иной момент времени.

Рассматривая возможные количественные оценки всех составляющих задержки доставки пакета, можно видеть, что в сети Интернет общего пользования задержка речевого сигнала может легко превысить 150 мс из-за перегрузок, пакетизации, наличия буфера джиттера и использования спутниковых каналов.

На рис. 28.1 показано, как задержки влияют на R-фактор и показатели МОС.

В заключение заметим следующее.

Решение задачи обеспечения требуемого качества обслуживания в сетях следующего поколения, безусловно, может быть достигнуто прямым путем – на основе предоставления гарантированной полосы пропускания, повышения производительности сетевых устройств – маршрутизаторов и шлюзов, использовании магистралей с высокой пропускной способностью.

Однако более эффективным представляется применение гибких методов управления ресурсами, которые обеспечивают требуемые показатели качества обслуживания при эффективном использовании ресурсов сети для большого набора различных приложений, включая и наиболее критичные аудио- и видеоприложения реального времени.

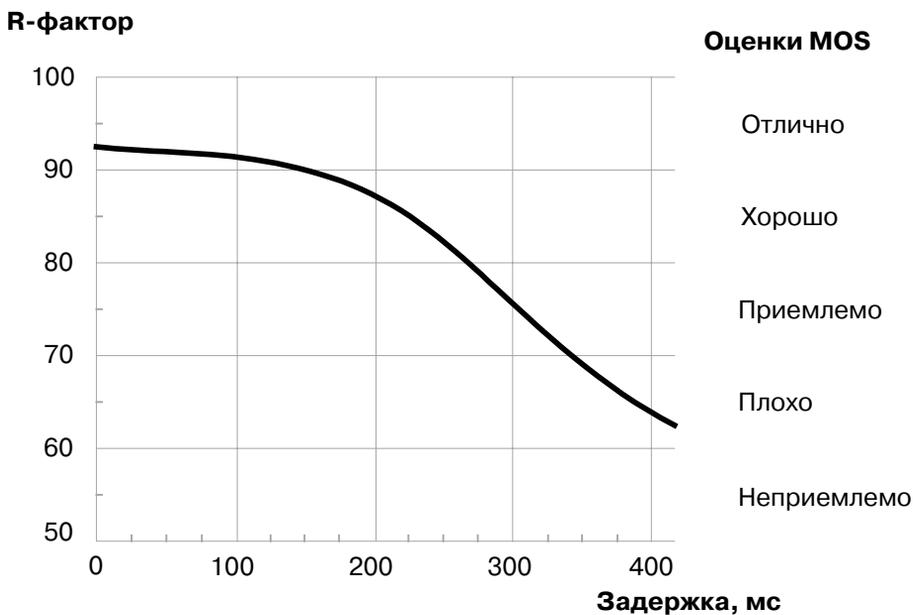


Рис. 28.1. Влияние величины суммарной задержки на R-фактор и оценки MOS



Ключевые слова: показатели качества обслуживания, средняя задержка, джиттер, вероятность потерь, концепция «best effort», механизмы IntServ и Diff-Serv, технология MPLS, E-модель, R-фактор, кодек, рекомендации МСЭ серии G.



Контрольные вопросы

1. Сопоставляя табл. 28.1 и 28.2, определите, к какому классу обслуживания относится передача речи в сетях IP.
2. С какой целью проводится обработка трафика в плоскости данных?
3. В чем достоинства и недостатки механизмов IntServ?
4. В чем достоинства и недостатки механизмов DiffServ?

5. Объясните, каким образом технология MPLS обеспечивает высокие показатели QoS.
6. Когда можно использовать принцип *best effort* в сетях IP?
7. По каким параметрам выбирается тип кодека?
8. Объясните разницу в подходах к оценке показателей QoS, основанных на MOS и R-факторе.



Задачи и упражнения

1. Определите диапазон средних задержек в системе VoIP, при которых обеспечивается приемлемый уровень качества речи.
2. Определите, какие типы кодеков ITU могут быть использованы в системе VoIP при условии приемлемого качества речи?
3. Определите (примерно), какие величины R-фактора и MOS могут быть обеспечены при использовании кодека GSM со скоростью передачи 13 кбит/с.
4. Рассчитайте задержки распространения на трассе Москва – Сидней при использовании:
 - медного кабеля;
 - волоконно-оптического кабеля;
 - спутникового канала.



Литература к лекции 28

- 28.1. Джонатан Д., Бхатия Д.П.М., Калидинди С., Мукхержи С. Основы передачи голосовых данных по сетям IP. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. – 400 с.
- 28.2. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Технология и протоколы MPLS. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 304 с.

Лекция 29

Задачи расчета СПД

*Подобно тому, как все искусства тяготеют к музыке,
все науки стремятся к математике.*

Д. Сантаяна

29.1. Особенности расчета сетей передачи данных

Задачи расчета сетей передачи данных по существу не отличаются от аналогичных задач расчета телефонных сетей и, как отмечено в лекции 9, могут быть разделены на три больших направления. Первое направление связано с определением структурных характеристик сети, второе – с оптимизацией использования ресурсов сети, третье – с оценкой параметров качества обслуживания, то есть с анализом *вероятностно-временных характеристик работы сети, таких как задержки и потери*. Первые два направления и в телефонных сетях, и в сетях передачи данных базируются на общих принципах, связанных с решением топологических задач, расчетом пропускной способности каналов и производительности узлов. В то же время подходы к оценке характеристик качества обслуживания в сетях обоих типов, хотя и базируются на теории массового обслуживания, однако, в качестве аналитических моделей для расчета характеристик сетей ПД используются, в основном, системы с очередями, тогда как в телефонных сетях применяются, как правило, системы с потерями вызовов.

В качестве основных параметров качества обслуживания (QoS) в сетях ПД на базе коммутации пакетов рассчитываются задержки и потери (и в узлах сети, и сквозные). В этой лекции мы рассмотрим несколько задач, иллюстрирующих подходы к расчету задержек и потерь пакетов как в классических сетях Интернет, так и в сетях IP, обслуживающих мультимедийный трафик.

29.2. Расчет длительности задержек в узле коммутации пакетов

Рассматривается задача расчета средней длительности задержек в узле коммутации пакетов. Термин «*узел коммутации пакетов*» означает здесь и концентратор (статистический мультиплексор), и узел виртуальной коммутации пакетов (сети X.25, Frame Relay, сети ATM), и маршрутизатор (сети IP). Узел коммутации пакетов может быть представлен в виде элемента с множеством входных каналов и одним выходным каналом (концентратор) или элемента с множеством входных и выходных каналов (коммутатор/маршрутизатор). С использованием символики Кендалла такие сетевые элементы могут быть представлены системами массового обслуживания вида $G/G/1$ или $G/G/n$ (произвольные вероятностные распределения, описывающие и входящий поток заявок (в нашем случае – пакетов или протокольных блоков), и время их обслуживания). (Отметим, что при анализе узлов коммутации пакетов часто используются модели с одним обслуживающим прибором, то есть системы $G/G/1$).

Средняя длина очереди в системе $M/G/1$ (пуассоновский поток пакетов на входе, произвольное распределение времени обслуживания) при бесконечном размере буфера рассчитывается по классической формуле Хинчина-Полячека:

$$\bar{q} = \rho + \rho^2 \frac{1 + C_s^2}{2(1 - \rho)}, \rho < 1, \quad (29.1)$$

где

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} - \text{нагрузка системы массового обслуживания (отноше-}$$

ние интенсивности входящего потока заявок к интенсивности их обслуживания),

$$C_s^2 = \frac{D(t_s)}{(\bar{t}_s)^2} - \text{квадратичный коэффициент вариации}$$

распределения времени обслуживания,

$D(t_s)$ – дисперсия распределения времени обслуживания.

\bar{t}_s – среднее время обслуживания протокольного блока (датаграммы, пакета, кадра, ячейки) в системе.

Для определения средней длительности задержки в системе $M/G/1$ воспользуемся формулой Литтла, уже фигурировавшей в лекции 19:

$$\bar{q} = \lambda \bar{t}_q$$

Тогда средняя длительность задержки определится как:

$$\bar{t}_q = \frac{\bar{q}}{\lambda} = \bar{t}_s \left[1 + \rho \frac{1 + C_s^2}{2(1 - \rho)} \right] \quad (29.2)$$

Для расчета средней длины очереди и средней длительности задержки необходимо знать значения дисперсии и математического ожидания (или коэффициента вариации) распределения времени обслуживания протокольного блока (время обслуживания пропорционально длине протокольного блока). В табл. 29.1 приведены выражения для расчета квадратичных коэффициентов вариации некоторых распределений, применяемых при оценке средней длительности задержки в сетях Интернет.

Гиперэкспоненциальное распределение формируется путем суммирования нескольких экспоненциальных распределений; каждое входящее в сумму распределение при этом взвешивается, и сумма весов равна единице. В табл. 29.1 гиперэкспоненциальное распределение представлено для случая, когда результирующее распределение содержит две составляющие. Вес одной составляющей равен S , вес второй составляющей равен $(1-S)$.

Геометрическое распределение, представляющее в таблице единственное дискретное распределение вероятностей, используется применительно к некоторым приложениям для описания распределения времени пребывания системы в определенном состоянии. Геометрическое распределение характеризуется вероятностью p_i пребывания системы в этом состоянии и вероятностью $1-p_i$ нахождения системы в другом состоянии.

Таблица 29.1. Квадратичные коэффициенты вариации для некоторых распределений

Распределение	Коэффициент C^2
Экспоненциальное (M)	$C^2 = 1$
Эрланга	$C^2 = \frac{1}{k}$ (k – порядок распределения Эрланга)
Гиперэкспоненциальное (H)	$\frac{1-2S+2S^2}{2S(1-S)}, 0 < S \leq \frac{1}{2}$ (S – параметр гиперэкспоненциального распределения для случая суммы двух экспонент)
Геометрическое ($Geom$)	$C^2 = p_i, 0 < p_i < 1$ (p_i – параметр геометрического распределения)
Постоянное время обслуживания заявки (D)	$C^2 = 0$

Параметры систем вида $G/G/1$ с бесконечной памятью не могут быть рассчитаны точно при распределениях параметров входящих потоков, отличных от пуассоновского. Однако существует набор приближенных формул, позволяющих рассчитать очереди и задержки. Ниже приведены формулы для расчета средней длины очереди в системе $G/G/1$, откуда легко может быть получена средняя длительность задержки:

$$\bar{q}_1 = \rho \left[1 + \frac{\rho(C_a^2 + C_s^2)}{2(1-\rho)} \right]; \quad (29.3)$$

$$\bar{q}_2 = \rho \left[\frac{1}{2} + \frac{\rho C_a^2 + C_s^2}{2(1-\rho)} \right]; \quad (29.4)$$

$$\bar{q}_3 = \frac{\rho C_a^2 + C_s^2}{2(1-\rho)}, \quad (29.5)$$

где C_a^2 и C_s^2 – квадратичные коэффициенты распределения входящего потока протокольных блоков и времени их обслуживания, соответственно.

Из формул для оценки средних длин очередей (задержек) видно, что в знаменателе каждой формулы присутствует множитель $(1-\rho)$, который является полюсом уравнения.

При приближении ρ к единице полюс стремится к нулю и кривые для очередей (задержек) стремятся к бесконечности (см. рис. 29.2 в конце лекции). Это явление должно учитываться при выборе нагрузки, чтобы обеспечить границы длительности задержек в соответствии с нормами качества обслуживания.

Приближение (29.3) сводится к формуле Хинчина-Полячека, то есть является точным для системы $M/G/1$. Использование той или иной приближенной формулы для расчета очереди определяется тем, насколько распределение входящего потока отличается от пуассоновского, а также от нагрузки обслуживающего устройства ρ [24].

29.3. Расчет вероятности потерь в узле коммутации пакетов

Еще одним важным параметром QoS в сетях передачи данных является *вероятность потерь пакетов*. Имеется ряд факторов, благодаря которым пакеты не доставляются в пункт назначения.

Среди основных причин отметим искажение пакетов в процессе передачи через сеть, превышение «времени жизни» пакетов, а также отброс пакетов в узлах при отсутствии свободного места в буферном накопителе узла.

Последнее явление встречается в том случае, если накопитель имеет конечную емкость памяти. Вероятность потерь определяется как вероятность переполнения буферного накопителя.

В данном разделе рассматривается задача расчета вероятности переполнения памяти в узле, который в общем виде описывается системой массового обслуживания вида $G/G/1/N$. Начнем с модели простейшей системы с пуассоновским входящим потоком и экспоненциальным распределением времени обслуживания, а затем рассмотрим более общие модели системы массового обслуживания.

Система $M/M/1/N$. Вероятность переполнения памяти определяется на основе процессов гибели и размножения и равна:

$$P_{loss} = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{N+1}} \rho^N \quad (29.6)$$

Очевидно, что при значениях $\rho^N \ll 1$ для системы $M/M/1/N$ может быть использована следующая аппроксимация:

$$P_{loss} \approx \rho^N \quad (29.7)$$

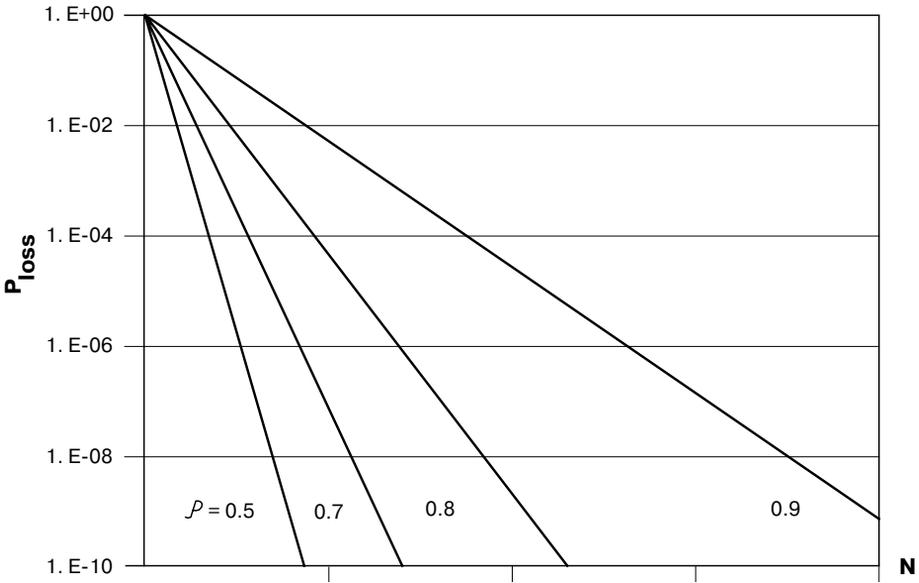


Рис. 29.1. Вероятность потерь как функция размера буферного накопителя при разных ρ

На рис. 29.1 представлены зависимости вероятности переполнения памяти P_{loss} от размера памяти накопителя N , измеряемого в числе протокольных блоков (пакетов, кадров, ячеек), при разных значениях нагрузки ρ . Эти зависимости рассчитаны по формуле (29.7). Заметим, что для фиксированного размера буфера вероятность переполнения возрастает по мере увеличения нагрузки ρ .

При заданной вероятности переполнения памяти существует максимальное значение нагрузки узла, при которой система с очередями удовлетворяет требованиям к вероятности потерь, определяемых нормами для этой вероятности (см. лекцию 28).

Из уравнения (29.7) можно также получить необходимый размер буфера в узле, исходя из вероятности потерь. Решение уравнения относительно емкости буфера N выражается следующей формулой:

$$N \approx \frac{\ln(P_{loss})}{\ln(\rho)} \quad (29.8)$$

Система G/G/1/N. Получение точных решений в замкнутой форме для систем такого типа при известных распределениях входящего потока и времени обслуживания, особенно при конечной емкости накопителя, сопряжено со значительными трудностями. Более эффективным является использование приближенных, но простых в применении оценок, базирующихся на квадратичных коэффициентах вариации входящего потока и времени обслуживания. Приближенная формула для оценки вероятности потерь в системе, если эти параметры распределений входящего потока и времени обслуживания известны, была предложена в середине 70-х годов прошлого столетия В.В. Липаевым и С.Ф. Яшковым и имеет следующий вид:

$$P_{loss} \approx \frac{1 - \rho}{1 - \rho \frac{2}{C_a^2 + C_s^2} N + 1} \rho \frac{2}{C_a^2 + C_s^2} N \quad (29.9)$$

Зная распределения входящего потока и времени обслуживания и, таким образом, получив значения квадратичных коэффициентов вариации, можно рассчитать вероятность потерь в довольно сложной системе. Конечно, следует учитывать, что эти оценки будут приближенными, но можно всегда оценить погрешность вычислений, проведя имитационное моделирование выбранной системы, например, с использованием системы ns2.

Рассмотренные примеры вычислений длительности задержек и вероятности потерь позволяют провести оценки для изолированных сетевых узлов. Представляет интерес также и оценка так называемых сквозных задержек и потерь. Что касается длительности задержки, определяемой узлами, то она считается простым суммированием задержек на всех узлах, включая и мультиплексоры. Вычисление сквозной вероятности потерь, учитывающей только потери в узлах из-за переполнения памяти, является более сложной задачей. Однако приняв гипотезу Л. Клейнрока о независимости узлов сети Интернет, можно свести расчет потерь в сети, содержащей K узлов, к простой формуле:

$$P_{loss_{net}} = 1 - \prod_{k=1}^K (1 - P_{loss_k}) \quad (29.10)$$

где $P_{loss_{net}}$ – вероятность сквозных потерь для сети,

P_{loss_k} – вероятность потерь в узле с номером k .

29.4. Особенности анализа мультимедийного трафика в сетях IP

Сегодня весь сетевой трафик Интернет практически можно разделить на два класса – трафик, передаваемый под управлением протокола TCP, и трафик, передаваемый под управлением протокола UDP.

Пропорции трафика TCP и UDP изменялись очень мало в течение последних 5–7 лет. Примерно 90% трафика передается через соединения TCP. Приложения, влияющие на рост трафика TCP, развиваются очень быстро, в первую очередь, благодаря разнообразным Web-приложениям и одноранговым (peer-to-peer) межсетевым соединениям. В то же время наблюдается рост объемов трафика UDP в связи нарастающей популярностью новых приложений, таких как VoIP, IPTV и др. Примерные объемы трафика UDP сегодня составляют около 9%, однако следует ожидать существенный рост этого класса трафика в ближайшие годы.

В сетях IP присутствует также *трафик управления*, который формируется различными протоколами сигнализации и управления сетью. Хотя обработка трафика управления необходима для нормального функционирования сети, его объем относительно мал (1 – 1,5%) и не влияет на характеристики работы сети.

Кроме деления на классы в зависимости от вида транспортного протокола, в сетях Интернет принято различать трафик трех основных типов: эластичный, потоковый и реального времени. Термин «*эластичный*» применяется к трафику, создаваемому при передаче данных под управлением протокола TCP, и его название связано с тем, что скорость передачи может изменяться в широких пределах в ответ на изменения нагрузки сети. Трафик этого вида чувствителен к потерям и не критичен относительно задержек.

Потоковый трафик порождается приложениями, связанными с передачей аудио- и видеoinформации. Эти приложения генерируют потоки пакетов, имеющие определенную скорость передачи, которая должна быть сохранена во время сеанса связи путем ограничения задержек, но при этом допустимы более длительные, по сравнению с трафиком реального времени, задержки, и этот тип трафика относительно малочувствителен к потерям.

Трафик реального времени допускает относительно небольшие длительности задержки и малочувствителен к потерям. Трафик этого типа создается в системах IP-телефонии и видеоконференц-связи. И потоковый трафик, и трафик реального времени передаются под управлением протокола UDP.

В классических сетях IP присутствовал только эластичный трафик, который обслуживался по принципу *best effort*. Для современных сетей IP, где имеется трафик всех трех типов, требуется широкий набор показателей параметров качества обслуживания, начиная от параметров уровня *best effort* и заканчивая параметрами, соответствующими трафику реального времени.

29.5. Распределения для различных приложений в сетях IP

Процесс поступления потоков в ядро сети обычно представляет собой суперпозицию большого числа независимых сеансов (сессий). Статистические данные о характере потоков в сетях IP свидетельствуют о том, что во многих случаях распределение, описывающее входящий поток и время обслуживания, можно считать экспоненциальным.

Вместе с тем, статистические исследования эластичного трафика показывают, что наряду с простейшими распределениями, процессы поступления и обслуживания могут описываться и медленно затухающими распределениями.

Структуры потокового трафика и трафика реального времени во многих приложениях также описываются медленно затухающими распределениями. Отметим, что у таких распределений дисперсия может быть довольно большой, так что квадратичные коэффициенты вариации будут превышать единицу (т.е. значение коэффициента вариации для экспоненциального распределения).

Случайные процессы, описывающиеся медленно затухающими распределениями, относятся к классу *самоподобных процессов*. Наиболее распространенными распределениями указанного типа являются распределения Парето, Вейбулла и логнормальное распределение.

В табл. 29.2 приведены обобщенные результаты статистических исследований в сетях IP для различных приложений; здесь через A обозначается распределение входящего потока, а через B – распределение длины протокольных блоков.

Из табл. 29.2 видно, что почтовый трафик (протокол SMTP) описывается экспоненциальным распределением, тогда как большому числу популярных IP-приложений соответствуют медленно затухающие распределения.

Таблица 29.2. Распределения для описания трафика различных приложений в сетях IP

Тип трафика	Уровень модели IETF	Распределения	
		A	B
VoIP/UDP	приложений/транспортный	P	P
FTP/TCP	приложений/транспортный	P	W и LN
SMTP/TCP	приложений/транспортный	M	M
HTTP/TCP	приложений/транспортный	P	LN и P
IP	сетевой	P	P
Ethernet	звена данных	P	P

Примечание: P – распределение Парето;
 M – экспоненциальное распределение;
 W – распределение Вейбулла;
 LN – логнормальное распределение.

29.6. Задержки и потери в системах массового обслуживания, описываемых медленно затухающими распределениями

Расчет средних очередей (задержек) и вероятности потерь в системе массового обслуживания с медленно затухающими распределениями входящего потока и времени обслуживания можно произвести по приближенным формулам, приведенным выше.

Результаты расчетов длительности задержек и вероятности потерь для узла коммутации, моделируемого системой вида $G/G/1$, по формулам (29.3) и (29.9) соответственно, представлены на рис. 29.2 и 29.3.

При вычислениях длительности задержек и вероятности потерь необходимо знать квадратичные коэффициенты вариации каждого распределения. Формулы для расчета этих коэффициентов сложны и здесь не приводятся. Вместе с тем, представленные результаты расчетов позволяют сделать ряд полезных выводов. На графиках для задержек видно влияние знаменателя $(1-\rho)$ на ход кривых. Длительность задержек и вероятность потерь существенно зависят от распределений входящего потока и времени обслуживания. Важно отметить, что задержки и потери в системе $M/M/1$ оказываются существенно меньше соответствующих параметров в системах с медленно затухающими процессами из-за разницы в значениях квадратичных коэффициентов вариации.

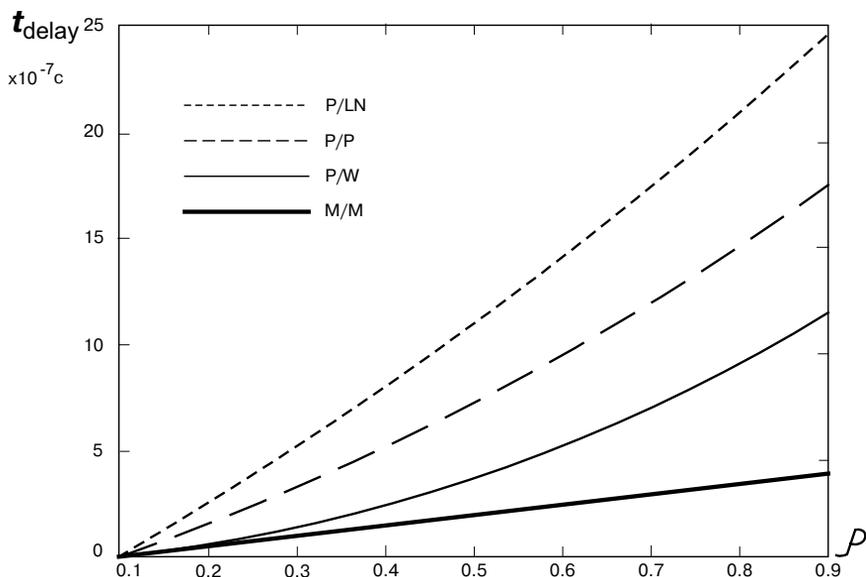


Рис. 29.2. Зависимость длительности задержки в узле коммутации от нагрузки при разных видах распределения характеристик входящего потока и времени обслуживания

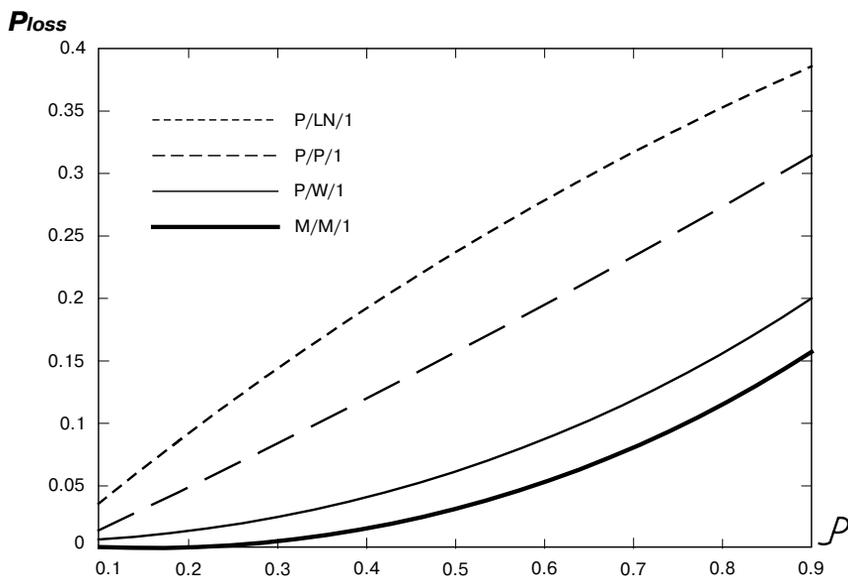


Рис. 29.3. Зависимости вероятности потерь в узле коммутации от нагрузки при разных видах распределения характеристик входящего потока и времени обслуживания



Ключевые слова: вероятностно-временные характеристики работы сети, узел коммутации пакетов, средняя длина очереди, формула Хинчина-Полячека, средняя длительность задержки, квадратичный коэффициент вариации, вероятность потерь, эластичный трафик, потоковый трафик, трафик реального времени, медленно затухающее распределение.



Контрольные вопросы

1. В чем специфика расчета СПД по сравнению с телефонными сетями?
2. Какой параметр узла коммутации пакетов может быть рассчитан по формуле Хинчина-Полячека?
3. Определите термин «квадратичный коэффициент вариации».
4. Что означает запись $G/G/1/N$?
5. Объясните поведение графиков вероятности переполнения буфера в зависимости от нагрузки и размера буфера.
6. В чем специфика трафика мультимедийных сетей IP?
7. В чем особенность медленно затухающих распределений при расчете задержек и потерь?
8. Какие выводы можно сделать из анализа графиков задержек и потерь?



Задачи и упражнения

1. Рассчитайте и сравните между собой средние очереди для систем $M/M/1$, $M/E_2/1$, $M/D/1$.
2. Рассчитайте максимально допустимую нагрузку в системе $M/M/1/N$ при норме P_{loss} для вероятности потерь и при размере буфера 50 протокольных блоков.
3. Решите эту же задачу на основе зависимостей, представленных на рис. 29.1.
4. Рассчитайте и сравните между собой вероятности переполнения буфера для систем $M/M/1$, $M/E_2/1$, $M/D/1$.
5. Рассчитайте сквозную вероятность потерь для сети из трех узлов, каждый из которых описывается системой $M/D/1$.



Литература к лекции 29

- 29.1. Липаев В.В., Яшков С.Ф. Эффективность методов организации вычислительного процесса в АСУ. – М.: Статистика, 1975.
- 29.2. Авен О.И., Гурин Н.Н., Коган Я.А. Оценка качества и оптимизация вычислительных систем. – М.: Наука, 1982.
- 29.3. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.

Лекция 30

Перспективы развития СПД

*Мечты слабых – бегство от действительности,
мечты сильных формируют действительность.
Юзеф Бестер*

30.1. Проблемы роста сетей передачи данных

При работе над последней лекцией части 3, посвященной сетям передачи данных (а на самом деле – сетям Интернет), авторы оказались в довольно затруднительном положении.

В лекциях 10 и 20 уже был определен вектор развития фиксированных и мобильных телефонных сетей, и этот вектор однозначно был направлен в сторону построения сетей следующего поколения, использующих в качестве базовых протоколы TCP/IP. В лекции 10 транспортный сегмент сети следующего поколения строится как сеть с коммутацией пакетов, в лекции 20 в качестве ядра применяется IP Multimedia Subsystem (IMS) – мультимедийная подсистема на базе семейства IP.

В этой ситуации естественно возникает вопрос – если перспективы телефонных сетей однозначно связаны с построением сетей IP, в каком направлении в этом случае должна развиваться сама сеть Интернет? Определим круг задач, стоящих на пути эволюции сетей СПД на базе семейства протоколов IP.

Современная сеть Интернет, как уже отмечалось выше, имеет сорокалетнюю историю. Созданная в конце 60-х годов прошлого столетия на заре развития цифровых технологий и первых успехов систем передачи на базе волоконно-оптических технологий,

инфраструктура Интернет, наряду с огромными достижениями, унаследовала большое число проблем, в первую очередь, обусловленных резким ростом числа пользователей, количества и разнообразия приложений, предоставляемых Операторами и Провайдерами.

Первая проблема определяется небывалым *ростом количества пользователей*. Только за последние 10 лет (с 1998 по 2008 год) число пользователей, подключенных к Интернет через фиксированные сети, выросло с 50 миллионов примерно до 1,2 миллиарда. Из 3 миллиардов мобильных пользователей примерно 20% имеют доступ к Интернет, увеличивая общее число ее пользователей до величины 1,8 миллиарда. Появилось множество устройств (кроме телефонов и компьютеров), подключенных к Интернет и «требующих» собственные адреса (см., например, табл. 20.1 в лекции 20). Рост числа пользователей приводит к истощению доступного адресного пространства протокола IPv4 и необходимости перехода к протоколу IPv6.

Вторая проблема в сегодняшних сетях Интернет определяется огромным *ростом объемов трафика*, обусловленным как ростом числа потребителей, так и увеличением количества и разнообразия приложений.

Потребители информации все большее внимание уделяют приложениям, связанным с мгновенной передачей сообщений, социальными и игровыми Web-сайтами, загрузкой видео и музыкальных файлов.

По оценкам компании Cisco видеоприложения в Интернет занимают примерно от 20 до 30% общего объема трафика. Например, в США в 2000 году общий объем ежемесячного суммарного магистрального трафика Интернет (генерируемого всеми приложениями) составлял 25 Пбайт, тогда как в 2007 году только ежемесячные объемы видеотрафика оценивались величиной порядка 29 Пбайт.

Большинство новых приложений, требующих большого объема сетевых ресурсов, получило название «*пожирателей полосы*». Ответом на эту проблему явилось внедрение технологий на базе волоконно-оптических сетей, существенный рост пропускной способности во всех сегментах сети Интернет – в магистральных и городских сетях, а также в сетях доступа.

Пропускная способность магистральных сегментов Интернет выросла за прошедшие 10 лет от сотен Мбит/с до десятков и сотен Гбит/с, и в сотни раз возросли скорости доступа в Интернет. Возможности, связанные с более высокими скоростями, привели к созданию аудио- и видеоархивов (например, YouTube), так же, как и к развитию одноранговых сетей для разделения цифрового контента.

Протокол VoIP, еще 10 лет назад рассматривавшийся как экзотическая новинка, сегодня отвоевал у традиционной телефонии примерно 20% речевого трафика. В сети Интернет получили широкое распространение видеоконференции, услуги определения местонахождения, анализ карт, научных данных, результатов измерений датчиков и т.д.

Рассмотрим более подробно вопросы, связанные с истощением адресного пространства и ростом трафика.

30.2. Переход к протоколу IPv6

В лекции 23 рассматривались свойства протоколов IPv4 и IPv6. Было отмечено, что одним из основных минусов протокола IPv4 на современном этапе развития глобальной сети Интернет является недостаточный объем числа адресов, обусловленный взрывным ростом количества пользователей с середины 90-х годов прошлого столетия и появлением большого числа устройств, подключенных к сети Интернет.

По оценкам IETF, сделанным в 2006 году, ожидается, что основное адресное пространство, которым распоряжается IANA (Internet Assigned Numbers Authority^{*}), будет исчерпано к 2011 году, а адреса, принадлежащие региональным регистраторам (RIR), закончатся в 2012 году. Поэтому первой задачей перехода от версии IPv4 к новой версии протокола IPv6 было расширение адресного пространства. Расширение полей адреса от 32 битов в версии 4 до 128 битов в версии 6 позволило увеличить число адресов с 4×10^9 до $3,4 \times 10^{38}$.

Кроме расширения адресного поля, в версии 6 значительно увеличена полная длина заголовка пакета – со 192 (IPv4) до 320 битов с учетом опций. Это расширение обеспечивает разделение служебной части пакета на основной и дополнительный заголовки и позволяет вынести ряд опциональных параметров в дополнительные поля.

В версии 4 опциональные параметры размещались в основном заголовке, и маршрутизаторы должны были обрабатывать значительный объем ненужной информации. В протоколе IPv6 предусматривается ряд процедур, снижающих нагрузку на маршрутизаторы, что позволяет уменьшить время обработки пакетов. В число этих процедур входят:

- агрегация адресов, ведущая к уменьшению размера адресных таблиц и, как следствие, к уменьшению времени анализа и обновления таблиц;
- перенос функций фрагментации пакетов (в случае их слишком большой длины) в узлы доступа (пограничные узлы);

^{*} «IANA (Internet Assigned Numbers Authority) – Администрация адресного пространства Интернет, американская организация, управляющая пространствами IP-адресов и доменов верхнего уровня».

- использование механизма маршрутизации от источника (Source Routing), когда узел-источник определяет сквозной маршрут прохождения пакета через сеть, а маршрутизаторы внутри сети освобождаются от процедуры определения следующего маршрутизатора для этого пакета.

Шестая версия протокола IP предусматривает также применение встроенных механизмов защиты информации, объединяемых общим названием IPSec (IP Security), для чего в заголовок вводится дополнительное поле Encryption. Спецификации IPSec обеспечивают механизмы аутентификации источников/получателей информации, а также шифрование, аутентификацию и целостность передаваемых данных.

Еще одна проблема, решаемая с помощью протокола IPv6, – обеспечение гарантированных показателей качества обслуживания с помощью двух полей: «класс трафика» и «метка потока», реализуемых с помощью механизмов дифференцированного обслуживания. Вместе с тем, сегодня можно констатировать, что такие приложения, как Skype и iChat, демонстрируют возможности надежных аудио- и видеоконференций в реальном времени в сети Интернет общего пользования, где все еще используется принцип наилучшей попытки (best effort).

30.3. Взрыв трафика IP, рост пропускной способности магистральных сетей и скоростей доступа в Интернет

На рубеже 80 – 90-х годов прошлого столетия, еще до появления сетей Интернет общего пользования, прогнозы объемов трафика на 2000 год определяли соотношением трафика телефонии (естественно, фиксированной) и трафика данных как 10:1.

С появлением коммерческих сетей Интернет трафик данных начал расти, и в 2000 году объемы трафика речи, передаваемые в фиксированных телефонных сетях, и объемы трафика в сетях IP сравнялись. С этого момента трафик IP начал существенно опережать трафик традиционной телефонии. Исследования трафика в сетях Интернет, проводимые университетами и исследовательскими центрами, показывают, что сегодня объемы мирового трафика Интернет растут приблизительно на 50 – 60% в год. Анализ трафика, проведенный в Университете Миннесота, США, являющемся признанной международной организацией по мониторингу трафика IP, свидетельствует, что ежемесячный объем трафика Интернет в конце 2008 года составлял около 8 экзбайтов или порядка 100 экзбайтов в год. Эти наблюдения подтверждаются компанией Cisco*, по данным которой трафик

* Cisco IP over DWDM Solution: Transport for the Approaching Zettabyte Era. White Paper. Cisco Systems. 2008.

Интернет будет удваиваться каждые два года. В соответствии с данными Cisco в 2012 году сети IP в мире будут транспортировать 44 экзабайта в месяц или 528 экзабайтов в год, что несколько больше, чем половина одного дзеттабайта (для получения представления об объемах трафика см. материалы вводной лекции). Этот рост вызван как ростом числа пользователей, так и появлением новых приложений, предъявляющих высокие требования к пропускной способности сетей Интернет. Объемы трафика в Интернет определяются следующими основными приложениями:

- Web, электронная почта, пересылка файлов (без учета одноранговых приложений);
- одноранговые приложения (Peer-to-Peer, P2P) распределения файлов (Freenet, Gnutella, Morpheus, Kazaa и др.);
- видеоприложения, включая видеотелефонию, YouTube, IPTV, видео по требованию;
- приложения обработки данных, в которых программное обеспечение предоставляется пользователю как Интернет-сервис («Cloud Computing»^{*});
- игры, распространяемые через Интернет;
- приложения, связанные с телеучастием (telepresence) – телеобучение, телемедицина.

Ожидается, что к 2015 году объемы мирового трафика Интернет возрастут примерно в 20 – 50 раз по сравнению с 2007 годом. Эти тенденции заставляют Поставщиков услуг и Операторов заново продумать свои подходы к архитектуре сети. При таком росте трафика возникают проблемы масштабируемости сетей IP с тем, чтобы поддержать требования к громадной полосе пропускания в ближайшие годы.

Кроме того, эти тенденции потребуют новых решений в области систем управления трафиком, обеспечивающих динамическое сквозное качество обслуживания для любой услуги, в любом месте, в любое время во всех элементах Интернет – в ядре сети, в городских сегментах и в сетях доступа.

Решение названных задач возможно при использовании архитектуры IPoDWDM, сочетающей свойства технологии IP и технологии разделения сетевых ресурсов на базе мультиплексирования по длине волны (Dense Wave Division Multiplexing, DWDM) с учетом новых интеллектуальных свойств обеих технологий.

Системы DWDM увеличивают пропускную способность оптических волокон путем распределения входящих оптических потоков, отвечающих стандартам SDH (например, несколько потоков STM-16/64), по определенным длинам волн и последующего мультиплексирования этих сигналов в виде единого

^{*} Согласно документам IEEE (2008 г.), Cloud Computing – это концепция, в рамках которой информация постоянно хранится на серверах в сети Интернет и временно кэшируется на клиентской стороне, например, на персональных компьютерах, игровых приставках, ноутбуках, смартфонах и т.д.

цифрового потока в одном волокне. Объединение технологии DWDM и реконфигурируемых оптических мультиплексоров в совокупности с новыми свойствами технологии IP позволяет построить сети Интернет следующего поколения, отвечающие новым требованиям.

В 2008 году пропускная способность магистральных сетей IP, используемая для пропускания всего международного трафика, составила примерно 20 Тбит/с, тогда как в 2000 году она равнялась 1 Тбиту в секунду.

Современные системы DWDM, используемые в магистральных сетях, позволяют пропустить только по одной паре волокон до одного Тбита в секунду. Существенно выросли и скорости доступа в Интернет. 10 лет назад практически все пользователи получали доступ путем предварительного набора номера модемного пула (а это означало 28 кбит/с или, в лучшем случае, 56 кбит/с).

Сегодня значительная часть пользователей имеет возможность осуществить широкополосный доступ к Интернет, начиная от скоростей 1 – 4 Мбит/с (с помощью модемов семейства xDSL через стандартные абонентские линии) до скоростей десятки-сотни Мбит/с (доступ через коаксиальные и волоконно-оптические системы, сети Ethernet, системы беспроводного доступа). По данным международной организации DSL Forum (см. www.broadband-forum.org) в конце 2008 года доступ через устройства xDSL получали 400 миллионов потребителей, то есть около 20% всех пользователей Интернет, без учета абонентов широкополосного доступа через другие системы.

В качестве примера эффективности широкополосного доступа рассмотрим передачу через Интернет всемирно известной Британской Энциклопедии (БЭ), изданной в 2000 году на DVD.

В этом формате БЭ содержит 4,5 Гбайта данных. Если для соединения с Интернет использовать мобильный телефон стандарта GSM (со скоростью передач данных 9,6 кбит/с), то пришлось бы ожидать около 43 суток, чтобы получить БЭ через сеть. При использовании фиксированной телефонной сети и модема 34 кбит/с необходимо было бы потратить на загрузку БЭ около 12 суток. В случае применения доступа через модем ADSL со скоростью 4 Мбит/с потребовалось бы 2,5 часа для загрузки БЭ, а при наличии доступа через коаксиальный кабель с модемом 30 Мбит/с мы смогли бы передать (и, соответственно, принять) весь файл за 20 минут.

30.4. Проект Internet2 (сеть Интернет следующего поколения)

В середине 90-х годов прошлого века в IETF начались активные работы по созданию спецификаций для сетей Интернет следующего поколения. Одним из результатов этих исследований была разработка протокола IPv6, вначале известного как протокол следующего поколения IPng (next generation). Примерно в то же время американские университеты создавали сети на базе IP, способные преодолеть ограничения, связанные с доступной пропускной способностью.

Необходимость в сетях с высокой пропускной способностью привела к созданию в 1995 году сети vBNS (very-high-performance Backbone Network Service). В создании сети приняли участие американский Национальный научный фонд (НСФ) и компания MCI – один из крупнейших американских Операторов. Концепция «Интернет следующего поколения» была рождена.

Следует отметить, что имеется определенная разница в трактовке терминов «Сеть Интернет следующего поколения» и «Сеть следующего поколения». Первый термин определяет сеть, задачей которой является улучшение характеристик традиционных сетей Интернет, тогда как второй термин относится к сети на базе протоколов семейства IP, которая должна объединять (конвергировать) все известные сети передачи информации.

В это же время (1996 год) был начат другой исследовательский проект, куда перешли практически все участники проекта vBNS в связи с его окончанием (1999 год). Ряд ведущих американских университетов (более 200 вузов), поддержанных правительством США, образовал некоммерческий консорциум Internet2, целью которого была разработка перспективных технологий и приложений с тем, чтобы приблизить появление «сети Интернет будущего».

Консорциум активно сотрудничает с ведущими производителями телекоммуникационного оборудования и программного обеспечения (Cisco, Nortel, Juniper, IBM, Microsoft) и Операторами (Level 3 и Quest).

Основным результатом деятельности консорциума сегодня является создание в 1999 году экспериментальной высокоскоростной сети Abilene, охватывающей всю страну и имеющей выход на европейские сети.

Отличительными особенностями новой сети являются применение протокола IPv6 и технологии вещательной передачи данных (multicast), реализация механизмов QoS при передаче видео и речевой информации. Пропускная способность магистральной

сети равна 10 Гбит/с, а в отдельных сегментах достигает 100 Гбит/сек. Минимальная скорость доступа к сети составляет 100 Мбит/с и осуществляется через *gigapops* – высокоскоростные шлюзы (*Point of Presence, PoP*).

Сеть IP поддерживает протоколы IPv4 и IPv6, а также другие усовершенствованные сетевые протоколы, позволяющие гибко увеличивать пропускную способность и обеспечивать требуемое качество обслуживания. На базе сети Internet2 предоставляется набор услуг, в число которых входят:

- услуги IP (на базе маршрутизаторов компании Juniper);
- услуги динамической коммутации оптических трактов (на базе коммутаторов компании Ciena);
- услуги долговременной коммутации оптических трактов (на базе оборудования компании Infinera).

30.5. Заключительные замечания о будущем сети Интернет

Проект Internet2 позволяет видеть свет в конце туннеля, хотя время от времени появляются пессимистические прогнозы, предвещающие близкий конец сетей Интернет (например, анализ компании Nemertes Research, опубликованный в 2008 году). Вместе с тем, на пути развития сетей Интернет имеется достаточно большой список нерешенных задач, среди которых отметим следующие.

Адресная проблема, как было отмечено и в этой лекции, и в предыдущих лекциях, состоит в том, что истощается доступное адресное пространство протокола IPv4 и необходимо пополнять это пространство за счет протокола IPv6.

Отметим, что начиная с 2003 года, большинство ведущих производителей телекоммуникационного оборудования начали массовый выпуск сетевых устройств с поддержкой протокола IPv6. Очевидно, что в ближайшем будущем в сети Интернет будут использоваться два параллельных адресных пространства, определяемых протоколами IPv4 и IPv6.

По-видимому, основным требованием к сетям является совместимость обоих протоколов с точки зрения адресов, с тем чтобы каждый пользователь был уверен в доступности всех адресов при использовании обоих адресных пространств. В отсутствие этой согласованности часть адресов IPv6 может быть недоступна другим адресам, что поставит под сомнение идею создания сети с полной достижимостью пользователей.

Вместе с тем, чтобы ограничить эффект истощения адресного пространства IPv4 необходимо ускорить внедрение протокола IPv6.

Сеть Интернет превратилась в глобальную инфраструктуру, используемую огромным числом людей, для которых языки, основанные на латинице, не являются родными. Это – китайцы, русские, арабы и другие народы.

В связи с этим возникает проблема создания и регистрации огромного диапазона нелатинских доменных имен, причем ожидается, что многие нелатинские имена будут предложены для главного уровня, не говоря о вторых или более низких уровнях в иерархии доменных имен.

В легализации назначения доменных имен и адресов Интернет цифровые подписи будут играть все более и более важную роль. Чтобы реализовать принципы защиты доменных имен, необходимо будет разработать процедуры управления цифровыми сертификатами или другими механизмами аутентификации.

Число мобильных устройств с доступом в Интернет будет возрастать очень быстро. Скорости доступа увеличатся, что обеспечит введение большого числа новых приложений и расширит возможности уже существующих услуг. Будет развиваться электронная торговля при условии устойчивого, безопасного и надежного функционирования сети Интернет.

Сеть Интернет может служить как полезная глобальная инфраструктура и в общественной жизни, включая общественную безопасность, свободу слова, защиту частной жизни и цифровой собственности.

Сегодня почти 1,9 миллиарда человек в мире используют Интернет. В течение следующего десятилетия это число может приблизиться к 6 миллиардам.

Сеть Интернет должна служить платформой, создающей равные возможности, чтобы увеличить богатство наций.



Ключевые слова: протоколы IPv4 и IPv6, адресное пространство, трафик IP, сети P2P, видеоприложения, Cloud Computing, системы DWDM, экзабайт, Тбит/с, Internet2, сеть Abilene.



Контрольные вопросы

1. С какими проблемами сталкивается сеть Интернет на современном этапе ее развития?
2. В чем различия протоколов IPv4 и IPv6?
3. Как будет решаться проблема истощения адресного пространства?
4. Что такое «пожиратели полосы»?
5. Какие дополнительные возможности обеспечивает протокол IPv6?
6. Приведите цифры прогноза роста трафика во Всемирной сети Интернет.
7. Назовите основные источники, определяющие рост трафика в сети Интернет.
8. Охарактеризуйте основные особенности проекта Internet2.
9. Назовите значения пропускной способности, реализованные в сети Abilene.



Задачи и упражнения

1. Рассчитайте, какое количество адресов протокола IPv6 придется на каждый квадратный метр поверхности Земли.
2. Определите время загрузки содержания одного диска DVD при использовании технологий ADSL, Metro Ethernet и доступа через сеть Abilene.



Литература к лекции 30

- 30.1. V. Cerf. A Decade of Internet Evolution. The Internet Protocol Journal, Volume 11, No. 2, 2008. http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_11-2/112_evolution.html.

Лекция 31

Заключительная

Если высыпать содержимое кошелька себе в голову, его уже никто у вас не отнимет.

Бенджамин Франклин

31.1. Краткие итоги

Первый раз Вы последовали предложению, приведенному в эпиграфе, когда купили эту книгу. Второй раз – когда дочитали ее до этой заключительной лекции. Разумеется, авторы при написании книги постарались коснуться всех основных аспектов современных сетей связи, но жизнь не стоит на месте. Ради удовлетворения желания людей получать информацию всюду и всегда, общаться в разных аудио-, видео- и мультимедиа форматах продолжают непрерывно создаваться и развиваться *сети связи*.

Собственно говоря, это непосредственно следует из предыдущих лекций, где были изложены основные аспекты создания и развития сетей электросвязи, предназначенных для предоставления интерактивных и вещательных услуг. В трех частях книги рассматривались:

- *ТфОП* (телефонная сеть общего пользования);
- *СПС* (сеть подвижной связи);
- *СДЭ* (сеть документальной электросвязи).

Телекоммуникационная система любого назначения может быть представлена моделью, состоящей из четырех компонентов. Эту модель, предложенную ИТУ, мы рассматривали во вводной лекции. Воспроизведем ее еще раз, выделив тот компонент, который стал в этой книге основным.

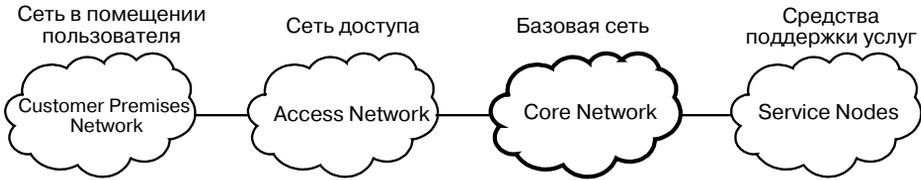


Рис. 31.1. Модель телекоммуникационной системы, предложенная ИТУ-Т

Выбор компонента «*Базовая сеть*» в качестве основного объекта для изучения был сделан по ряду причин.

Во-первых, авторам показалось логичным начать курс лекций с той части телекоммуникационной системы, которая входит в сферу ответственности Оператора связи. Во-вторых, следует вспомнить, что сеть доступа часто называют «последней милей». Из этого следует, что базовая сеть занимает – с точки зрения ее масштаба – существенно большее пространство. В-третьих, с базовой сети начиналось практическое применение новых технологий передачи и коммутации. В-четвертых, после изучения принципов построения и развития базовой сети методологически проще анализировать процессы модернизации всех остальных компонентов телекоммуникационной системы.

Четыре названные причины не умаляют значения остальных компонентов модели ИТУ. По всей видимости, появятся и другие курсы лекций, посвященные сетям в помещении пользователя, сетям доступа и средствам поддержки услуг.

В этой лекции основное внимание уделяется ряду направлений развития сетей связи, обусловленных важнейшей тенденцией развития телекоммуникационной системы – постепенному переходу к NGN.

31.2. Эволюция сетей доступа

Изложить суть эволюционных процессов, характерных для *сетей доступа*, в одном разделе невозможно. Тем не менее, следует отметить некоторые важные моменты. На рис. 31.2 выделены основные этапы развития сетей доступа и систем коммутации.

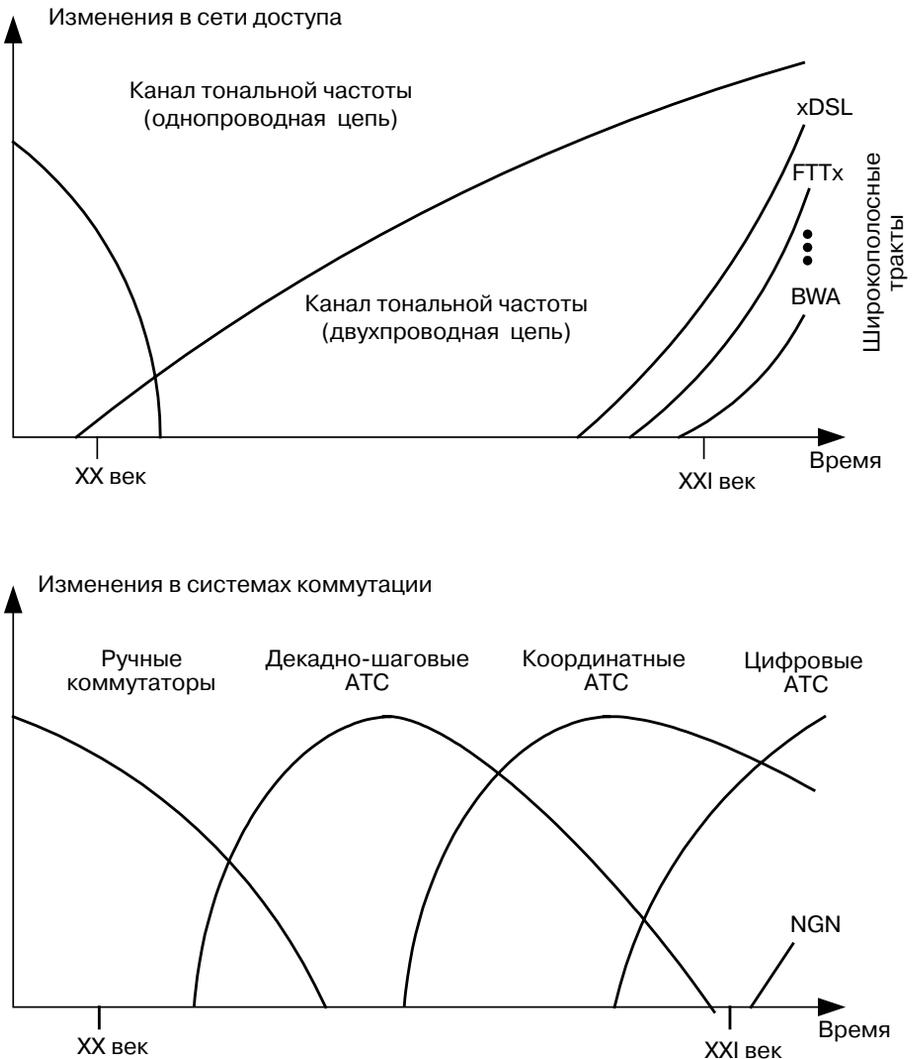


Рис. 31.2. Основные этапы развития сетей доступа и систем коммутации

Начнем с нижнего графика. Ручные коммутаторы стали основой ТфОП. Позже они были вытеснены автоматическими телефонными станциями. На рисунке показаны три типа АТС: декадно-шаговые, координатные и цифровые. В разное время они занимали лидирующее положение на рынке оборудования коммутации. Кроме того, в телефонных сетях применялись также машинные АТС.

Между координатными и цифровыми АТС на телекоммуникационном рынке – в небольших объемах – появилось квазиэлектронное коммутационное оборудование. Цифровые системы коммутации, по-видимому, – последнее поколение АТС. Им на смену придут системы распределения информации, отвечающие требованиям NGN.

За более чем столетний период в системах коммутации периодически происходили заметные изменения. Развитию сетей доступа свойственны иные законы. После появления двухпроводных абонентских линий начался период, который можно считать стагнацией. Двухпроводные физические цепи надолго стали практически единственным средством построения сетей доступа. Было известно, что такой способ построения сети доступа экономически неэффективен, но приемлемого решения никто не нашел. В конце XX века начал формироваться платежеспособный спрос на услуги, поддержка которых потребовала существенного расширения полосы пропускания сети доступа. Эти услуги, в конечном счете, можно отнести к функциональным возможностям *Triple-play services*, которые подразумевают способность к обмену информацией трех видов: *речь, данные и видео*. Успехи телекоммуникационных технологий позволили разработать ряд новых вариантов модернизации сетей доступа. В некоторых случаях полностью или частично использовались эксплуатируемые многопарные кабели. Другие решения опирались на иные среды распространения сигналов.

Период стагнации сменился почти одновременным появлением множества решений, среди которых на верхнем графике выделены только три крупных направления:

xDSL – совокупность технологий, позволяющих организовать цифровой тракт по физическим цепям;

FTTx – ряд решений, подразумевающих доведение кабеля с оптическими волокнами до некоторой точки «х», после которой информация передается с использованием другой среды распространения сигналов;

BWA – широкополосные беспроводные средства доступа, ориентированные на подключение терминалов без использования кабелей связи.

Выбор оптимального решения для модернизации сети доступа зависит от многих факторов. В первую очередь, следует уяснить требования телекоммуникационной системы, которые предъявляются к перспективным сетям доступа. Из всей совокупности таких требований целесообразно выделить следующие тенденции:

- рост скорости передачи информации;
- ужесточение требований некоторых групп пользователей к показателям качества обслуживания;

- поддержка функций мобильности терминала для ряда приложений, включая функциональные возможности *triple-play services*;
- снижение затрат, необходимых для создания и дальнейшего развития всех элементов инфокоммуникационной системы.

Проиллюстрируем первую из упомянутых тенденций при помощи графика, который был построен на основании прогноза компании Technology Future Inc. для пользователей квартирного сектора в США. Кривые, приведенные на рис. 31.3, отражают вероятный тренд изменения требований потенциальных абонентов к скорости обмена данными через сеть доступа. Прогноз был сделан в начале XXI века.

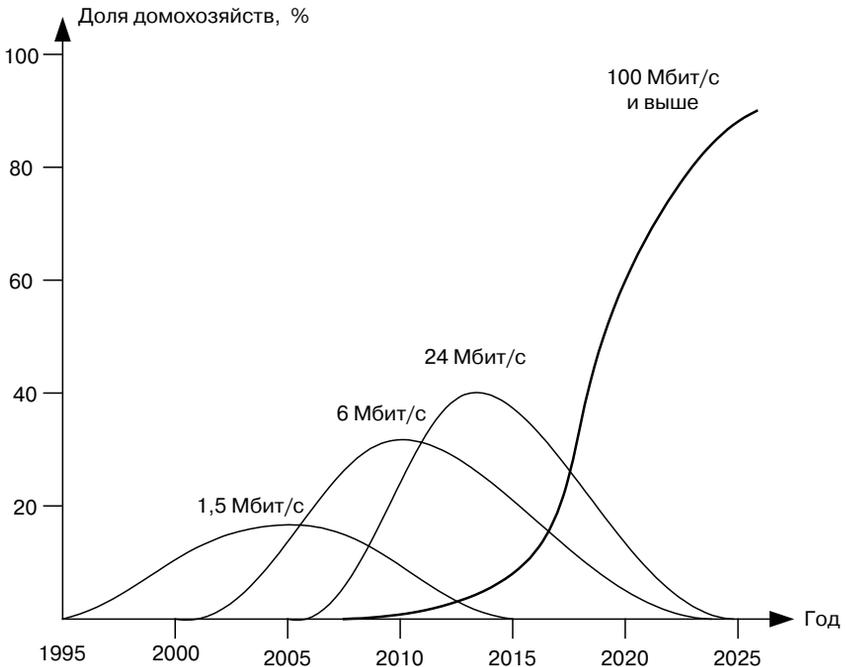


Рис. 31.3. Изменение требований к скорости передачи данных через сеть доступа

Столь существенный рост скорости обмена информацией обусловлен, в основном, двумя тенденциями:

- развитие системы телевидения высокой четкости, для которого необходимы широкополосные каналы;
- повышение скорости передачи данных в Интернет для поддержки информационных услуг и игровых приложений новых видов.

Следует отметить, что скорость 100 Мбит/с (верхний предел для последней кривой) совпадает с максимальной скоростью передачи

информации в перспективных сетях мобильной связи. Хотя такая скорость даже в отдаленной перспективе представляется более чем достаточной, некоторые специалисты считают, что определенной группе пользователей потребуются ресурсы доступа порядка 1 Гбит/с.

31.3. Система эксплуатационно-технического управления

Система эксплуатационно-технического управления – еще один важный компонент телекоммуникационного мира, который не рассматривается в этой книге.

В технической литературе на английском языке система эксплуатационно-технического управления известна по термину *management system*. Она, как и сеть доступа, – тема для отдельной книги.

Для каждого элемента технической системы можно определить «жизненный цикл» – время с момента зарождения идеи до вывода из эксплуатации оборудования, в котором она была воплощена. Большинство элементов телекоммуникационных сетей относятся к так называемым консервативным сложным системам. Подобным системам присущи две особенности:

- эволюция в процессе эксплуатации¹ происходит сравнительно медленно и не связана с радикальными изменениями;
- каждый элемент системы представляет собой сложное устройство, анализ которого нельзя свести к простой задаче.

Система эксплуатационно-технического управления предусматривает решение ряда важных задач. Одна из таких задач – техническое обслуживание. Оно включает в себя комплекс технических и организационных мероприятий, выполняемых в процессе эксплуатации технических объектов с целью обеспечить требуемую эффективность выполняемых функций. В документах ИТУ конкретизируется это определение, разработанное для сложных систем универсального назначения. В частности, в рекомендациях ИТУ *серии M* техническое обслуживание рассматривается как совокупность технических и административных действий, обеспечивающих поддержание (включая восстановление) объекта в состоянии, в котором он может выполнять требуемые функции.

На рис. 31.4 приведена простейшая модель, в которой выделен элемент сети связи, представляющий собой – с точки зрения рассматриваемых в этом разделе вопросов – объект управления.

¹ Под эксплуатацией понимается та часть жизненного цикла системы, которая направлена на ее использование по назначению.

Для этого объекта, согласно рекомендациям ITU-T серии М, определены интерфейсы электросвязи (для обмена информацией между терминалами пользователей) и технического обслуживания.

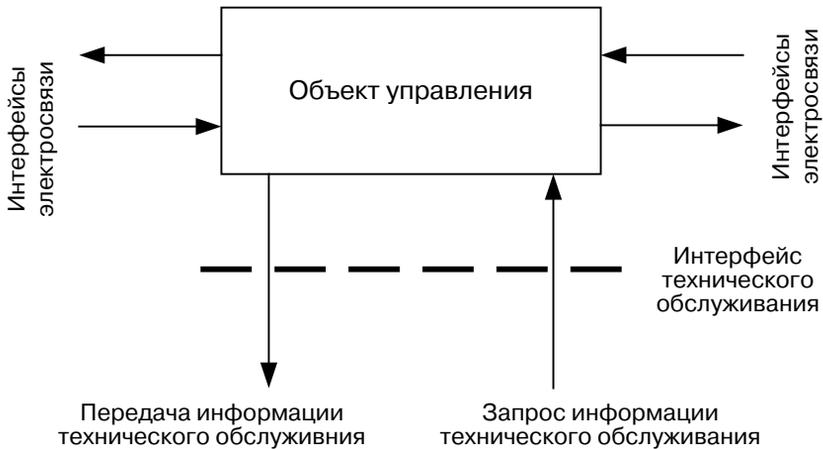


Рис. 31.4. Интерфейсы объекта управления

Через интерфейс технического обслуживания происходит обмен информацией, которая необходима для работы системы эксплуатационно-технического управления. В рассматриваемой модели предполагается формирование сигналов запроса и передачи информации технического обслуживания.

Реализацию эксплуатационных процессов часто рассматривают как совокупность задач, решение которых производится двумя системами, известными по аббревиатуре OSS/BSS (Operation Support System/Business Support System). Речь идет о системах поддержки эксплуатационных и бизнес-процессов. Системы OSS/BSS ориентированы на полную или частичную автоматизацию этих процессов.

Многие специалисты связывают дальнейшее развитие систем OSS/BSS с концепцией NGOSS (New Generation Operation System and Software). С некоторыми допущениями NGOSS можно считать следующей генерацией систем OSS/BSS, ориентированной на сети NGN.

Идеология NGOSS разработана международной независимой организацией TMF (TeleManagement Forum). Одна из основных задач NGOSS заключается в том, чтобы предоставить основным участникам телекоммуникационного рынка средства для создания и модернизации современных эксплуатационных и бизнес-процессов.

31.4. Глобальная информационная инфраструктура

Мы живем в мире, в котором информация имеет большое значение. Ежедневно человек получает информацию и узнает для себя что-то новое. Не так давно общая сумма человеческих знаний удваивалась каждые пятьдесят лет. В наши дни объем информации удваивается каждые два года.

В 1994 году вице-президент США Альберт Гор обратился к странам-членам Международного союза электросвязи с предложением объединить национальные *информационные инфраструктуры*. В результате проведенной работы родилась идея ГИИ, упоминавшаяся во вводной лекции. В настоящее время разработан ряд соответствующих рекомендаций ИТУ-Т (серия У). Из определений ГИИ следует выделить такую трактовку: «Совокупность информационных и вычислительных ресурсов, предоставляемых для организаций и/или населения, и средств доступа (в том числе – дистанционного) к этим ресурсам». Модель ГИИ, которая предложена ИТУ-Т в рекомендациях серии У, приведена на рис. 31.5.

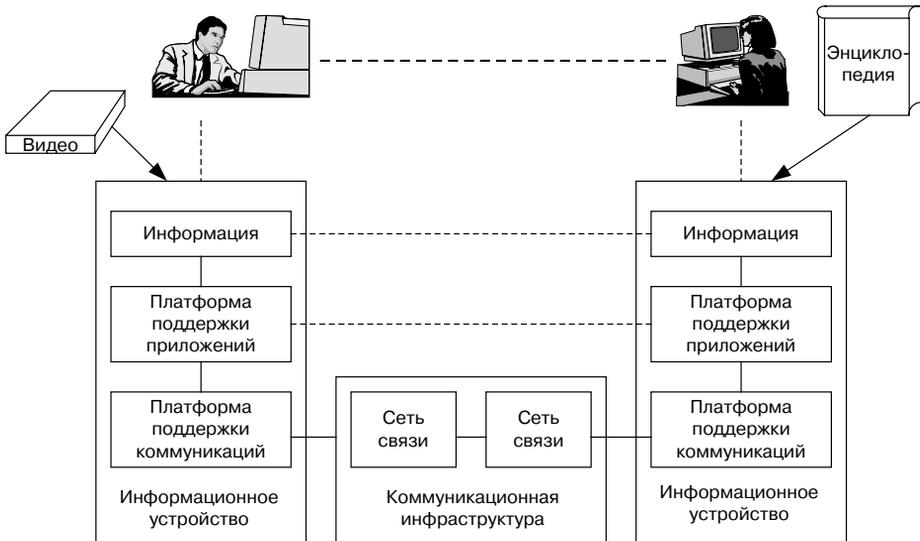


Рис. 31.5. Модель Глобальной информационной инфраструктуры

В этой модели между двумя информационными устройствами расположена *коммуникационная инфраструктура*, состоящая из нескольких сетей связи, которые используются в процессе передачи информации. Обмен информацией может происходить между

людьми, между человеком и каким-либо техническим устройством, а также без участия людей. Концепция NGN обычно рассматривается как одно из самых перспективных направлений практической реализации идеологии ГИИ.

31.5. Вместо послесловия

Футурологи уже сошлись во мнении, что нынешнее столетие можно считать веком *инфокоммуникаций*. Этот введенный ИТУ новый термин подразумевает информатику и ряд смежных дисциплин, среди которых важнейшая роль отводится телекоммуникациям.

Отсюда следует, что электросвязь станет одним из локомотивов экономики XXI века. Перед специалистами в области электросвязи открываются заманчивые перспективы профессиональной деятельности. Можно не сомневаться в появлении новых идей, в разработке оригинальных технологий, в качественном обновлении всех используемых технических средств.

Если решению возникающих задач будет хоть как-то способствовать эта книга, авторы смогут считать, что трудились не зря.

Завершая книгу, мы с благодарностью вспоминаем своих учителей. И надеемся, что нам, в свою очередь, удастся выполнить вечную задачу: *«Учитель, воспитай ученика, чтоб было у кого потом учиться!»*².



Литература к лекции 31

- 31.1. Кох Р., Яновский Г.Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи. – М: Радио и связь. – 2001.
- 31.2. Гольдштейн Б.С. Системы коммутации. 2-е изд.– СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
- 31.3. Соколов Н.А. Телекоммуникационные сети. – М.: Альварес Пабблишинг, 2004.

² Эти слова принадлежат поэту Евгению Винокурову. Правда, в его стихотворении первым словом было «Художник». Тем не менее, в обиход вошла фраза: «Учитель, воспитай...»

Дополнительная литература

1. Аваков Р.А., Кооп М.Ф., Лившиц Б.С., Подвидз М.М. Городские координатные автоматические телефонные станции и подстанции. – М.: Связь, 1971.
2. Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения. – М.: Московский рабочий, 1969.
3. А.А. Атцик, А.Б. Гольдштейн, Б.С. Гольдштейн. Протокол MEGACO/H.248. Справочник // СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2009.
4. Бабков В.Ю., Полинцев П.В., Устюжанин В.И. Качество услуг мобильной связи. Оценка, контроль и управление. Под ред. профессора А.А.Гоголя. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005.
5. Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации. – М.: Эко-Трендз, 2008.
6. Башарин Г.П., Харкевич А.Д., Шнепс М.А. Массовое обслуживание в телефонии. – М.: Наука, 1968. – 246.
7. Беллами Дж. Цифровая телефония: Пер. с англ. / Под ред. А.Н. Берлина, Ю.Н. Чернышева. – М.: Эко-Трендз, 2004.
8. Битнер В.И., Попов Г.Н. Нормирование качества телекоммуникационных услуг. – М.: «Горячая линия – Телеком», 2004.
9. Булгак В.Б., Варакин Л.Е., Ивашкевич Ю.К., Москвитин В.Д., Осипов В.Г. Концепция развития связи Российской Федерации. – М.: Радио и связь, 1995.
10. Весоловский К. Системы подвижной радиосвязи/пер. с польск. И.Д. Рудинского под ред. А.И. Ледовского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006.
11. Вишневецкий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003.
12. Гайдар Е.Т. Долгое время. Россия в мире: очерки экономической истории. – М.: Дело, 2005.
13. Гольдштейн Б.С., Ехриель И.М., Рерле Р.Д. Интеллектуальные сети. – М.: Радио и связь, 2005.
14. Гольдштейн Б.С., Зарубин А.А., Саморезов В.В. Протокол SIP. Справочник // СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
15. Гольдштейн Б.С. Сигнализация в сетях связи. Том 1. 4-е изд. – перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 2006.
16. Гольдштейн Б.С. Системы коммутации. 2-е изд., БХВ-Петербург, 2004.
17. Гольдштейн Б.С., Розенцвайг И. Методические указания к лабораторным работам по теме: Мониторинг сети ОКС№7. СПбГУТ. СПб, 2003.
18. Гольшко А.В. Трудности переходного возраста. Коннект. Мир связи. 2007, №2.
19. Громаков Ю.А. Сотовая связь – проблемы и новые возможности. Вестник связи. 2008, №4.
20. Давыдов Г.Б., Рогинский В.Н., Толчан А.Я. Сети электросвязи. – М.: Связь, 1977.
21. Жданов И.М., Кучерявый Е.И. Построение городских телефонных сетей. – М.: Связь, 1972.
22. Закиров З.Г., Надеев А.Ф., Файзуллин Р.Р. Сотовая связь стандарта GSM. Современное состояние, переход к сетям третьего поколения. – М.: Эко-Трендз, 2004.
23. Захаров Г.П., Симонов М.В., Яновский Г.Г. Службы и архитектура широкополосных цифровых сетей интегрального обслуживания. Электронные знания, ТЭК. – М.: Эко-Трендз, 1993.
24. Зелигер Н.Б., Чугреев О.С., Яновский Г.Г. Проектирование сетей и систем передачи дискретных сообщений. – М.: Радио и связь, 1984.
25. Карташевский В.Г., Семенов С.Н., Фирстова Т.В. Сети подвижной связи. – М.: Эко-Трендз, 2002.
26. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979.

27. Корнышев Ю.Н., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика. – М.: Радио и связь, 1996.
28. Кох Р., Яновский Г.Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи. – М: Радио и связь, 2001.
29. Кучерявый А.Е., Парамонов А.И., Кучерявый Е.А. Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчета. – М.: ФГУП ЦНИИС, 2008.
30. Лернер П.С. Инженер третьего тысячелетия. – М.: Издательский центр «Академия», 2005.
31. Лившиц Б.С., Фидлин Я.В., Харкевич А.Д. Теория телефонных и телеграфных сообщений. – М.: Связь, 1979.
32. Макаров В.В. Телекоммуникации в России: состояние, тенденции и пути развития. – М.: ИРИАС, 2007.
33. Мардер Н.С. Современные телекоммуникации. – М.: ИРИАС, 2006.
34. Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения // Серия изданий «Связь и бизнес». – М.: ООО «Мобильные коммуникации», 2000.
35. Нейман В.И. Структуры систем распределения информации. – М.: Радио и связь, 1983.
36. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети: Принципы, технологии, протоколы. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2008.
37. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM. – М.: Эко-Трендз, 2005.
38. Разроев Э. Инфокоммуникационный бизнес: управление, технологии, маркетинг. – Санкт-Петербург, издательство «Профессия», 2003.
39. Ратынский М.В. Основы сотовой связи / Под ред. Д.Б. Зимина. – М.: Радио и связь, 2000.
40. Руководящий документ по общегосударственной системе автоматизированной телефонной связи (ОГСТФС). Книги I, II. – М.: Преискурантиздат, 1988.
41. Соколов Н.А. Сети абонентского доступа: принципы построения. – Пермь: Энтер-профи, 1999.
42. Соколов Н.А. Телекоммуникационные сети. – М.: Альварес Пабблишинг, 2004.
43. Столингс В. Беспроводные линии связи и сети. – М.; СПб.; Киев: Изд. дом «Вильямс», 2003.
44. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2005.
45. Тихвинский В.О., Терентьев СВ. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS. – М.: Эко-Трендз, 2007.
46. Шварц М. Сети связи. Протоколы. Моделирование и анализ. – Ч.1, Ч.2. Пер. с англ. под ред. В.И. Неймана. – М.: Наука, 1992.
47. Шиллер Й. Мобильные коммуникации. – Издательский дом «Вильямс», 2002.
48. Шнепс М.А. Система распределения информации. Методы расчета (справочное пособие). – М.: Связь, 1979.
49. Юнг Ф. Перспективы развития инфокоммуникаций. – СПб.: «Петеркон», 2003.
50. Freeman R.L. Telecommunication System Engineering: 2nd Ed. New York: Wiley-Interscience, 1989.
51. G.Heine. GSM Networks: Protocols, Terminology and Implementation. – Artech House, Boston, London, 1999.
52. Manterfield R.J. Common-Channel Signaling. – Peter Peregrinus Ltd., London, 1991.
53. Robertson D.S. The information revolution. – Communication Pres., N.Y., Vol. 17, N2, 1990.
54. Smith Clint, Collins Daniel. 3G Wireless Network. – McGraw-Hill, 2002.
55. UMTS Networks: Architecture, Mobility and Service / Heikki Kaaranen, Ari Ahtiainen, Lauri Laitenen, Siamak Naghian, Valtteri Nienu (Second Edition). – John Wiley & Sons, Ltd., 2005.

Список сокращений

2G	Мобильные сети второго поколения, включая технологии GSM
2,5G	Усовершенствованное второе поколение цифровых СПС
2ВСК	Система сигнализации по двум выделенным сигнальным каналам
3G	Мобильные сети 3-го поколения
3GPP	Third Generation Partnership Project – партнерство в области технологий 3G
4G	Четвертое поколение сетей подвижной связи
АМТС	Автоматическая междугородная телефонная станция
АТС	Автоматическая телефонная станция
СПС	Сеть подвижной связи.
СДЭ	Сеть документальной электросвязи
ГТС	Городская телефонная сеть
ЕСЭ РФ	Единая сеть электросвязи Российской Федерации
ЗСЛ	Заказно-соединительная линия
ЗТУ	Зоновый телефонный узел
ИКМ	Импульсно-кодовая модуляция (PCM)
КПК	Карманный персональный компьютер
МРК	Межрегиональная компания
МС	Местная станция
НПА	Нормативный правовой акт
ОКС7	Общеканальная система сигнализации №7
ОПТС	Опорно-транзитная станция
ОС	Оконечная станция
РАТС	Районная АТС
СЛ	Соединительная линия
СЛМ	Соединительная линия междугородной связи
СОРМ	Система оперативно-розыскных мероприятий
СПАЙДЕР	Система мониторинга и аудита сети сигнализации
СПС	Сети подвижной связи
ТА	Телефонный аппарат
ТС	Транзитная станция
ТФОП	Телефонная сеть общего пользования
УАК	Узел автоматической коммутации
УАТС	Учрежденческая АТС
УВС	Узел входящего сообщения
УВСМ	Узел входящего междугородного сообщения
УИВС	Узел исходящего и входящего сообщений
УИС	Узел исходящего сообщения
УС	Узловая станция
УСП	Узел сельско-пригородной связи
УСС	Узел спецслужб
ЦОВ	Центр обслуживания вызовов
ЦСП	Цифровые системы передачи
ЦС	Центральная станция
ЧНН	Час наибольшей нагрузки
А	Интерфейс между MSC и BSS
A-bis	Интерфейс между BSC и BTS
ADSL	Asymmetrical Digital Subscriber Line – асимметричная цифровая АЛ
AMPS	Advanced Mobile Phone Service – усовершенствованные услуги мобильной телефонной связи (аналоговый стандарт, разработанный в США)
API	Application Programming Interface – интерфейс прикладного программирования
ARPU	Average Revenue per User – средний доход Оператора на одного абонента
АТМ	Asynchronous Transfer Mode – асинхронный режим доставки
AuC	Authentication Center – центр аутентификации

BSC	Base Station Controller – контроллер базовой станции
BSS	Base Station System – система базовых станций
BTS	Base Transceiver Station – базовая приемопередающая станция
CC	Country Code – код страны, определяет страну или географический регион в плане нумерации национальной сети связи
CAMEL	Customized Applications Mobile Enhanced Logic – усовершенствованная логика мобильной связи для пользовательских приложений
CDMA	Code Division Multiple Access – множественный доступ с кодовым разделением каналов
CDR	Call Detail Record – запись параметров вызова (учетная запись)
CT-2	Cordless Telephony-2 – беспроводные телефоны второго поколения
D-AMPS	Digital Advanced Mobile Phone Service – цифровая усовершенствованная система мобильной телефонной связи. Модификация системы AMPS при переходе к сотовым системам мобильной связи второго поколения.
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications. Цифровая усовершенствованная беспроводная связь
DNS	Domain Naming Server – сервер доменных имен. Система преобразования логических имен в IP-адреса
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer – мультиплексор доступа для цифровых абонентских линий
DTAP	Direct Transfer Application Part – подсистема сквозной передачи сообщений
DTMF	Dual-tone multifrequency – многочастотный набор номера «2 из 3»
E1	Стандартный тракт первичной ЦСП с пропускной способностью 2048 кбит/с
EDGE	Enhanced Data Global Evolution – повышение скорости передачи данных для глобальной эволюции. Проект, развивающий стандарт GSM и позволяющий увеличить скорость передачи данных до 384 кбит/с
ENUM	tElephone NUmber Mapping – концепция преобразования телефонного номера
ETSI	European Telecommunication Standardization Institute – Европейский Институт стандартизации в области связи
EV-DO	Evolution, Data Only – стандарт передачи данных в СГП
FDMA	Frequency Division Multiple Access – множественный доступ с частотным разделением каналов
FIB	Forward indicator bit – бит индикации прямого направления в ОКС7
FISU	Fill-in signal unit – заполняющая сигнальная единица в ОКС7
FSN	Forward sequence number – порядковый номер передаваемой сигнальной единицы в ОКС7
FMC	Fixed-Mobile Convergence – конвергенция фиксированных и мобильных сетей
FMS	Fixed-Mobile Substitution – замена фиксированных сетей сетями подвижной связи
FTTx	Fiber To The «x» – волокно до точки «x»; собирательное название для ряда решений по использованию кабеля с оптическими волокнами в сети доступа
GII	глобальная информационная инфраструктура
GGSN	Gateway GPRS Support Node – шлюзовой узел поддержки GPRS, осуществляющий маршрутизацию пакетов, поступающих в нее из внешних пакетных сетей
GMSC	Gateway Mobile Switching Center – шлюзовой центр коммутации мобильной связи
GPRS	General Packet Radio Service – технология пакетной радиопередачи данных. Модернизация стандарта GSM, позволившая организовать услугу передачи данных на базе технологии с коммутацией пакетов
GPS	Global Positioning System – глобальная система позиционирования
GSM	Global System for Mobile communication – глобальная система мобильной связи. Цифровой стандарт для сотовых систем мобильной связи, использующих диапазоны частот 900, 1800 и 1900 МГц и функционирующих по принципу TDMA

HLR	Home Location Register – сетевая база данных, в которой хранятся справочные данные об абонентах, постоянно зарегистрированных в зоне, которую контролирует HLR (адреса, информация об услугах и др.)
HTML	HyperText Markup Language – язык разметки гипертекста
HTTP	HyperText Transport Protocol – протокол передачи гипертекста
IAM	Initial address message – начальное адресное сообщение в ОКС7
IETF	Internet Engineering Task Force – инженерная рабочая группа Интернет
IMEI	International Mobile Equipment Identity – уникальный международный идентификатор мобильного терминала
IMSI	International Mobile Subscriber Identity – международный идентификатор мобильного абонента
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000 – Международная программа ИТУ создания систем подвижной связи 3G
IN	Intelligent Network – Интеллектуальная сеть. Сеть, которая в рамках телефонной сети общего пользования позволяет разрабатывать и внедрять новые услуги
INAP	Intelligent network application protocol – прикладной протокол Интеллектуальной сети
ISO	International Standardization Organization – Международная организация стандартизации
IP	Internet Protocol – протокол (семейство протоколов) Интернет; текущая версия – IPv4, новая – IPv6
ISDN	Integrated Services Digital Network – цифровая сеть интегрального обслуживания
ISUP	ISDN user part – подсистема-пользователь, поддерживающая сигнализацию телефонной сети, сети передачи данных и цифровой сети интегрального обслуживания ISDN
ITU-T	International Telecommunications Union – Telecommunication Standardization Sector. Международный Союз Электросвязи – Сектор стандартизации в области связи
LAN	Local area network – локальная сеть передачи данных
MAC	Medium Access Control, протокол контроля доступа к среде – протокол передачи данных в Um-интерфейсе сети GPRS, обеспечивающий установление канала и мультиплексирование данных
MAP	Mobile Application Part – прикладная подсистема-пользователь поддерживающая подвижную связь стандарта GSM
ME	Mobile Equipment – мобильное оборудование
MCC	Mobile Country Code – три цифры кода страны определяют страну, на территории которой находится домашняя сеть мобильного абонента
MNC	Mobile Network Code – код сети подвижной связи определяет домашнюю СПС абонента
MOS	Mean Opinion Score – средняя экспертная оценка качества речи мобильных терминалов
MS	Mobile Station – мобильный терминал
MSC	Mobile Switching Center – центр коммутации мобильной связи
MSRN	Mobile Station Roaming Number – временный номер для роуминга
MSISDN	Mobile Station International ISDN Number – Международный ISDN – номер мобильного терминала
MSU	Message Signal Unit – значащая сигнальная единица в ОКС7
MTP	Message Transfer Part – подсистема переноса сообщений в ОКС7
MVNO	Mobile Virtual Network Operator – Оператор виртуальной сети мобильной связи
NGN	Next Generation Network – сеть следующего поколения
NMT	Nordic Mobile Telephone – мобильная телефония для северных стран. Сотовая система мобильной связи в диапазонах 450 и 900 МГц
NMT450	Nordic Mobile Telephone System – первая европейская система, работавшая в диапазоне 450 МГц

OMAP	Operations, Maintenance and Administration Part – подсистема эксплуатационного управления и контроля в ОКС7
OSI	Open systems interconnection – взаимодействие открытых систем
PICS	Protocol implementation conformance statement – ведомость соответствия протоколу
PIXIT	Protocol implementation extra information for testing – дополнительные данные о реализации протокола
QoS	Quality of Service – качество обслуживания
RAN	Radio Access Network – сеть радиодоступа
SCCP	Signalling Connection Control Part – подсистема управления сигнальными соединениями в ОКС7
SCP	Service control point – узел управления услугами Интеллектуальной сети
SDH	Synchronous Digital Hierarchy – синхронная цифровая иерархия ЦСП
SGSN	Serving GPRS Support Node – обслуживающий узел поддержки GPRS
SLA	Service Level Agreements – соглашения об уровне обслуживания
SMS	Short Message Service – услуга коротких сообщений
SHDSL	Single-pair High-speed DSL – симметричная цифровая АЛ по одной витой паре
SIM	Subscriber Identity Module – модуль идентификации абонента, пластиковая карта, вставляемая в мобильный терминал и обеспечивающая возможность санкционированного доступа в СПС
SNT	Signaling network testing – платформа мультипротокольного тестирования
SMSC	Short Message Service Center – центр услуг обмена короткими сообщениями
SP	Signalling point – пункт сигнализации в сети ОКС7
SSP	Service switching point – узел коммутации услуг Интеллектуальной сети
STP	Signalling transfer point – транзитный пункт сигнализации в сети ОКС7
TACS	Total Access Communications System – технология, работавшая в диапазоне 900 МГц
TCAP	Transaction capabilities application part – прикладная подсистема поддержки транзакций ОКС7
TDM	Time Division Multiplexing – временное разделение каналов
TDMA	Time Division Multiple Access – множественный доступ с временным разделением каналов
TETRA	Trans European Trunked Radio. Цифровые транкинговые системы
TUP	Telephone user part – подсистема-пользователь, поддерживающая сигнализацию телефонной сети
TRAU	Transcoding and Rate Adaptation Unit – блок перекодировки и адаптации скорости передачи
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System – универсальная система мобильной связи. Концепция объединения стандартов сотовых систем мобильной связи третьего поколения в единую мировую.
URL	Uniform Resource Locator – унифицированный указатель информационного ресурса
VAD	Value Added Services – дополнительные услуги
VDSL	Very High-speed Digital Subscriber Line – сверхскоростная цифровая АЛ
VLR	Visitor Location Register – сетевая база данных, в которой хранятся сведения о перемещении абонентов. Накопленная информация хранится до тех пор, пока абонент находится в зоне, контролируемой MSC
VoIP	Voice over IP – технология передачи речевого трафика по IP-сетям
WAP	Wireless Application Protocol – прикладной протокол беспроводного доступа
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access – широкополосный множественный доступ с кодовым разделением каналов
xDSL	eXtended Digital Subscriber Line – усовершенствованная цифровая абонентская линия

Предметный указатель

2

2G, 22, 163, 165, 167, 168, 171, 172, 174, 205, 214, 217, 219, 222, 248, 249, 392
2,5G, 6, 22, 163, 168, 173, 205, 392

3

3G, 6-8, 22, 159-161, 163, 167-171, 184, 203, 205, 207, 209, 213-218, 225, 245, 248-251, 258, 391, 392, 394
3GPP, 7, 22, 160-162, 172, 182, 197-200, 206-214, 223, 228, 234, 248-250, 252, 392

4

4G, 6, 8, 169-171, 203, 204, 248, 249, 258, 392

A

AMPS, 6, 156, 163-167, 171, 394, 398
ATM, 9, 212, 263, 271, 277-281, 283, 284, 287, 288, 360

B

B-формула Эрланга, 243
Best effort, 242, 282, 341, 342, 351, 357, 358, 367, 374
BGCF, 255, 258,
Bluetooth, 152
BS, 154, 161, 165, 171, 174, 182
BSC, 156, 157, 161, 173, 175-177, 179, 182, 184, 186, 187, 210, 211, 219, 220, 233, 392, 393
BSSAP, 184, 187, 194, 220
BSSMAP, 187, 194

C

CDMA, 6, 158, 161, 165-167, 169-171, 205, 207, 394
CDMA-450, 165, 171

D

D-AMPS, 165-168, 170, 171
DECT, 112, 151, 161, 169, 393
DiffServ, 347, 350, 351, 357
DWDM, 374-376, 380

E

EDGE, 8, 145, 160, 168, 207, 218, 225, 395
ENUM, 10, 89, 307, 320, 321, 393
ETSI, 6, 20, 22, 30, 96, 116, 121, 151, 152, 159-162, 172, 174, 182, 206, 207, 228, 234, 242, 250, 288, 333, 342, 393

F

FDMA, 158, 393
FMC 150, 161, 247, 258, 393
FMS 150, 161, 393
Frame Relay, 9, 263, 268, 275-277, 281, 283, 288, 352, 360

G

GPRS, 8, 145, 160, 168, 173, 184, 198, 207, 210, 213, 218-220, 222, 225, 235, 236, 240-244, 392, 393-395
GSM, 6, 7, 23, 77, 144, 156, 159-162, 165-184, 186, 188-190, 196-199, 202, 205, 207, 209-212, 218, 219, 223, 225, 235, 239, 244, 247, 255, 257, 358, 376, 390-394

H

H.248, 212, 213, 256, 302, 308, 331, 390
HLR, 6, 157, 158, 161, 173, 177-179, 181, 182, 184-186, 188, 190, 191, 194, 197, 199, 208, 212, 219, 221-223, 254, 258, 394
HSS, 212, 214, 253-255, 257, 258
HTTP, 11, 20, 24, 37, 52, 68, 92, 268, 299, 337-340, 368, 380, 394

I

IETF, 20, 22, 159, 162, 182, 269, 270, 287, 288, 294, 297, 298, 300, 302, 303, 306, 307, 314, 320, 331, 333, 337, 342, 349, 350, 352, 368, 373, 377, 394
IMEI, 7, 180, 181, 190, 196, 199, 200, 204, 394
IMS, 8, 9, 179, 208, 212-214, 217, 249-258, 371
IMSI, 7, 176, 179, 189-191, 196-198, 204, 394
IMT2000, 159
Instant Messaging, 251, 258
IntServ, 11, 349, 350, 357
IPTV, 10, 23, 324, 331-335, 366, 375
ITU-T, 6, 11, 15, 16, 19-22, 26, 30, 51, 69, 73, 75, 82, 83, 91, 95, 96, 99, 103, 113, 114, 116, 119, 121, 124, 140-142, 159, 161, 162, 169, 197, 198, 227, 228, 234, 264, 266, 268-271, 277, 278, 280, 281, 284, 301, 302, 304, 320, 321, 326, 328, 331-334, 342-346, 353-355, 358, 381, 382, 386-389, 394

L

LTE, 213, 248, 258

M

MEGACO, 212, 213, 256, 300, 302, 308, 331, 390
MMS, 203, 215, 216, 218, 224, 225, 229
MPLS, 11, 270, 333, 351, 352, 357, 358
MS, 155, 161, 174, 175, 180, 182, 184, 186-190, 193, 210, 223, 235
MSC, 6, 88, 156-158, 161, 166, 173, 177-179, 181, 182, 184, 186, 187, 190-193, 198-200, 208, 210-212, 219-221, 223, 229, 233, 250, 392, 394, 395
MSFC, 255, 258
MSFP, 255, 258

N

NGN, 5, 14, 21, 51, 112, 138,
140, 142-144, 146-148,
203, 341, 342, 382, 384,
387, 389, 390
NMT-450, 6, 77, 164, 165,
171, 185, 395

P

Presence, 251, 258, 378
Push-to-talk, 8, 224, 225

Q

QoS, 8, 11, 23, 113, 216, 227,
228, 233, 234, 243, 256,
277, 282, 283, 330, 341,
343, 345, 346, 348-352,
358, 360, 363, 377, 395

R

R-фактор, 353, 354,
356-358

S

Sigtran, 212, 213, 303, 304,
306, 308
SIM-карта, 6, 175-177, 180,
182, 196-198, 201, 204,
210, 251
SIP, 10, 213, 251, 253, 256,
257, 298-300, 307, 308,
331, 333, 390
SLA, 120, 143, 348-350, 395
SMS, 8, 111, 169, 181, 182,
184, 186, 193, 203, 205,
216, 218, 222, 223, 225,
229, 230, 234, 395
SNTlite, 233, 234

T

TDMA, 158, 161, 173, 205,
218, 395, 398
TISPAN, 250, 258
TRAU, 173, 176, 177, 395

U

UDP, 9, 270, 288, 291, 293,
294, 296-299, 302, 303,
328, 330, 333, 334, 366,
368
UMTS, 7, 23, 159, 170, 173,
183, 205-214, 223, 225,
228, 247, 248, 391, 395
URL, 320, 321, 337, 338, 340,
395

V

VHE, 8, 223, 225
VLR, 6, 173, 177-179, 182,
184-188, 190-194, 198,
199, 210, 219, 220, 223,
395
VoD, 331, 332, 334
VoIP, 10, 11, 23, 296, 298,
304, 323-332, 334, 335,
344, 345, 352, 353, 358,
366, 368, 373, 398

W

WAP, 8, 218, 222, 225, 398,
W-CDMA, 161, 169, 170, 206,
207, 210, 398
Web-браузер, 216, 217, 320,
337, 338, 340
Web-сайт, 268, 269, 338,
340, 372
Web-сервер, 337, 338, 340
WiMAX, 170, 171, 247, 249,
250
WLAN, 152, 213
WWW, 265, 335, 337, 340

X

X.25, 9, 263-265, 268,
271-277, 281, 283-284,
287, 288, 316, 323, 352,
360

A

Адресация, 10, 309, 310, 321
Абонентская линия, 52, 96,
97, 123, 141, 376, 395

Б

«Большая тройка», 165, 202,
204, 207

В

Вероятность потерь, 11,
50, 117, 118, 130, 133,
136, 236, 243, 244, 282,
304, 342, 357, 363-365,
368-370
Видеоконференции, 169,
208, 215, 225, 245, 299,
300, 342, 344, 345, 366,
373, 374
Время установления
соединения, 106, 117,
119, 133-135, 228, 230,
234

Д

Датаграмма, 10, 262-264,
270, 285, 287-292, 294,
296, 297, 311, 316-321,
326, 327, 341, 342, 354,
356, 361
Джиттер, 208, 209, 293, 330,
342-346, 351, 354-357
Домен, 213, 219, 240, 250,
255, 256, 321, 337, 373

Е

Е-модель, 353, 357

З

Зона охвата соты, 155, 176
Зона радиопокрытия, 151,
152, 223

И

Измерения QoS, 234, 348
Интерфейсы А, В, Abis, 7,
96, 186, 187, 194, 210,
392

К

Код 112, 87, 202, 204
Кодек, 256, 325, 326, 334,
353-358
Коды ABC, 40, 83-86, 91, 92,
200, 201, 204
Коды DEF, 86, 88, 91, 92, 97,
195, 201, 202, 204, 248
Коммутационная станция, 5,
28, 31, 35, 42, 43, 57, 59,
78, 96, 98, 106, 118, 125,
128, 129, 140, 179

М

Микроплатежи, 217, 225
Мобильная коммерция, 169,
217, 225
Мобильность терминала,
27, 145, 164, 195, 229,
231, 234, 385
Мобильные развлечения,
216, 225
Модель OSI, 76, 77, 266,
267, 270, 287, 288, 297
МСЭ, 15, 203, 357

Н

Наложённая сеть, 58, 59, 61,
62, 64, 65, 67, 68, 123
Номер MSIN, 197, 204
Номер MSISDN, 7, 191, 198,
204

- П**
- Пейджинг, 5, 151, 161
 - Перескакивание частот, 173
 - План нумерации, 4, 7, 46, 81-91, 139, 184, 195, 196, 199-204, 309, 310, 321
 - Потоковое аудио/видео, 216, 225, 342
 - Потоковый трафик, 209, 214, 216, 366, 367, 370
 - Привратник, 302, 308, 327, 331, 334
 - Пропускная способность, 8, 12, 55, 93, 94, 96, 126, 127, 135, 153, 168, 170, 213, 232, 235, 236, 240, 243, 254, 261, 262, 265, 270, 276, 290, 293, 316, 318, 326, 332, 334, 343, 347, 354, 356, 359, 372, 374-380, 393
 - Протокол H.323, 10, 256, 302, 331, 333
 - Протокол IPv4, 9, 256, 289, 290, 292-294, 296, 297, 310, 314, 315, 334, 350, 372, 373, 378-380, 394
- Р**
- Протокол IPv6, 9, 256, 289, 292-294, 296, 297, 314, 350, 372, 373, 374, 377-380,
 - Протокол SIP, 8, 77, 159, 184, 222, 224, 225,
 - Протокол MAP, 7, 158, 159, 184, 186, 190, 191, 194, 219-221, 257, 394
 - Протокол RTP, 10, 21, 302, 328, 330, 331, 333, 334
 - Протокол RTCP, 302, 330, 333, 334
 - Протокол SMTP, 11, 268, 299, 339, 340, 367, 368
 - Протокол SCTP, 10, 302-304, 306, 308
 - Протокол TCP, 9, 265, 270, 285-288, 291, 293-297, 299, 302, 330, 336, 339, 347, 366
 - Пять девяток, 120, 226, 227, 234
- Р**
- Роуминг, 156, 162, 168, 175, 178, 182-184, 188, 195, 197, 232, 248
- С**
- Сеть доступа, 40, 42, 43, 52, 54, 92, 94, 105, 123, 138, 140, 141, 210, 332, 382, 384-386, 393
 - Сота, 154-157, 161, 162, 164-166, 169-171, 174, 176, 188, 196, 236-239, 243, 244
 - Соединительная линия, 32, 33, 37, 71, 111, 165, 391
 - СПАЙДЕР, 233, 234, 393
 - Стек OKS7, 159, 183, 184, 186, 194, 212, 220
 - Стек TCP/IP, 9, 23, 265, 269, 286-288, 303, 304, 308, 336, 371
- Т**
- ТЧ, 26, 30, 55, 57, 105, 141
- У**
- Уровни иерархии, 3, 39-41, 46, 51, 52, 55, 75, 125, 132, 140, 379
- Х**
- Хот-спот Wi-Fi, 145, 170, 171, 247, 249, 250
 - Хэндовер, 77, 156, 157, 160, 162, 164, 171, 178, 179, 182-184, 211, 221, 233, 248
- Ц**
- ЦСП, 55, 56, 72, 393, 395, 392-395
 - Цифровизация, 3, 4, 30, 32, 37, 43, 51, 56, 58-68, 91, 122, 138, 140, 141, 143, 146, 147, 158
- Ш**
- Шлюз SS7 GW, 212, 214
- Э**
- Эластичный трафик, 366, 367, 370

Именной указатель

А

Авен О.И., 368
 Ас-Самарканди
 Мухаммед Аззахири, 183

Б

Бабков В.Ю., 234, 388
 Бакланов И.Г., 149, 388
 Белл Александр Грэхем, 27
 Беллами Дж., 39, 388
 Берлин А.Н., 38, 388
 Бернерс-Ли Томас, 345
 Бестер Юзеф, 369
 Битнер В.И., 234, 388
 Борель Эмиль, 18
 Будда
 (Сиддхартха Гаутама), 285
 Бхатия Д.П.М., 356
 Бэрен П., 264

В

Варакина Л.Е., 68
 Вегеша Ш., 124
 Вейбулл В., 371, 372
 Вемьян Г.В., 124
 Вишневецкий В. М., 163,
 368, 388
 Волков А.Н., 214, 225
 Володина Е.Е., 234

Г

Герц Генрих, 153
 Гилеланд, 29
 Гоголь А.А., 14
 Гольдштейн А.Б., 258,
 307, 356
 Громаков Ю.А., 162, 172,
 225, 389,
 Губерман И., 245
 Гурин Н.Н., 368

Д

Давыдов Г.Б., 38, 389
 Джеймс С., 101
 Джонатан Д., 356
 Доплер Х.И., 248
 Дэвис Д., 264
 Джухени, 271

Е

Ехриель И.М., 101, 388

З

Закиров З.Г., 184, 389

И

Ильф Илья, 226

К

Калидинди С., 356
 Кан Р., 265
 Кант Иммануил, 235
 Капица П., 321
 Карташевский В.Г., 162, 389
 Кларк Артур, 152
 Клейнрок Л., 136, 363, 389
 Коган Я.А., 369
 Конфуций, 150
 Котельников В.А., 3, 18, 30
 Кох Р., 148, 387, 389
 Крылов И.А., 13
 Кэрролл Л., 308

Л

Лао-Цзы, 333
 Лаглас П.С., 134
 Лем Станислав, 15
 Леонардо да Винчи, 27
 Липаев В.В., 363, 368
 Лопе де Вега, 260

М

Макаров С.Б., 182, 244
 Мардер Н.С., 92, 204, 389
 Маркони Гульельмо, 153
 Мерфи, 339
 Мукхержи С., 356

Н

Надеев А.Ф., 182, 389
 Найквист Гарри, 18
 Назаров А. Н., 284
 Ньютон Исаак, 172

О

Олифер В.Г., 296, 320, 389
 Олифер Н.А., 296, 320, 389
 Острейковский В.А., 136

П

Парето В., 365, 376
 Певцов Н.В., 182, 244
 Пинчук А.В., 332
 Пискителло Д., 101
 Польшцев П.В., 234, 388
 Попов А., 153, 325, 394
 Попов В.И., 244, 390
 Попов Г.Н., 234
 Попов Е.А., 182, 244
 Пфайфер Л., 101

Р

Разживин И. А., 284
 Разроев Э., 112, 390
 Рапп (Y. Rapp), 128
 Ратынский М.В., 172, 390
 Рейман Л.Д., 68
 Рерле Р.Д., 101, 388

Рогинский В.Н., 38, 52
 Росляков А.В., 80, 96
 Рыжков А.Е., 213, 225

С

Сантаяна Д., 357
 Севастьянов Б.А., 132
 Северин А.В., 225
 Селье Ганс, 102
 Семенов С.Н., 162, 389
 Семенов Ю.А., 296, 338
 Сенека, 215
 Серф В., 265
 Сиверс М.А., 182, 214, 225
 Симонов М. В., 284, 388
 Синезуб, 152
 Стилтьес Т.И., 134
 Суховицкий А.Л., 332

Т

Таненбаум Э., 270, 284, 390
 Тачикава Кейджи, 244
 Тесла Никола, 153
 Титтель Э., 101
 Тихвинский В.О., 234, 390
 Толчан А.Я., 38, 389
 Тюхтин М.Ф., 333

У

Уиттекер Эдмунд, 18
 Устюжанин В.И., 234, 388

Ф

Файзуллин Р.Р., 182, 388
 Фирстова Т.В., 162, 389
 Фрейнкман В.А., 101
 Фукуяма Фрэнсис, 195

Х

Харкевич А.Д., 52
 Хартли, 339
 Хинчин-Полячек, 240, 243,
 358, 361, 368

Ч

Чернышев Ю.Н., 38, 388

Ш

Шевцов В.А., 225
 Шеллинг Ф., 297
 Шеннон Клод, 18
 Шнепс М.А., 52, 136, 388
 Шувалов В.П., 234

Э

Эрланг А.К., 127, 239, 243

Я

Яшков С.В., 363, 368

Авторы учились, получили дипломы инженеров, защитили кандидатские и докторские диссертации в Ленинградском электротехническом институте связи им. проф. М. А. Бонч-Бруевича (ныне Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций, СПбГУТ).



Профессор **Борис Гольдштейн** занимается программным обеспечением систем коммутации, различными аспектами построения NGN. Работает заместителем генерального директора ЛОНИИС, изо всех сил стараясь при этом не превратиться в бюрократа от науки. По этой причине много работает со студентами и аспирантами, заведует кафедрой систем коммутации и распределения информации в СПбГУТ, опубликовал около 300 печатных работ в области инфокоммуникаций, 18 монографий, в числе которых «Сигнализация в сетях связи», «Softswitch», «Evolution of Telecommunication Protocols». Имеет 30 авторских свидетельств и патентов, в том числе, на несколько весьма успешных на телекоммуникационном рынке продуктов, возглавляет Советы директоров трех петербургских научно-технических центров, является членом редколлегий трех отраслевых журналов, членом IEEE.



Профессор **Николай Соколов** – ведущий научный сотрудник ЛОНИИС, профессор кафедры систем коммутации и распределения информации в СПбГУТ. Основным направлением его научной работы в последние годы стали системные исследования, которые касаются практического применения новых телекоммуникационных технологий для развития городских и сельских сетей электросвязи. Результаты этих работ отражены в ряде статей и в трех монографиях, а также составили основу докторской диссертации. Консультант ряда российских и зарубежных компаний. Член IEEE. Дважды приглашался журналом «IEEE Communications Magazine» в качестве редактора для подготовки статей о развитии телекоммуникационных сетей в России и в странах Восточной Европы.



Профессор **Геннадий Яновский** кандидатскую степень получил за исследования в области обработки сигналов, степень доктора технических наук присуждена за исследования технологии АТМ. Заведующий кафедрой сетей связи СПбГУТ, руководитель научно-образовательной школы; под его руководством подготовлено более 20 кандидатов и докторов наук. Автор 190 научных работ, ряда учебников для вузов связи и монографий, в числе которых «Широкополосные цифровые сети интегрального обслуживания», «Эволюция и конвергенция в электросвязи», «Управление сетями связи». Основные научные интересы в последние годы – исследование проблем эволюции и конвергенции сетей связи, анализ и синтез фиксированных сетей. Консультант ряда российских и зарубежных компаний, эксперт РФФИ, международных программ TACIS и INTAS, член IEEE.