



М В И З Р С В Я З И

А. ДЖАМАЛИПУР

Беспроводной мобильный Интернет: архитектура, протоколы и сервисы

Перевод с английского
под редакцией к.т.н. В.К. Орлова

ТЕХНОСФЕРА

Москва

2009

Джамалипур А.

**Беспроводной мобильный Интернет:
архитектура, протоколы и сервисы**

Москва:

Техносфера, 2009. — 496с. ISBN 978-5-94836-115-4

Книга представляет собой первое полное изложение проблем беспроводного доступа к Интернету: определение беспроводного доступа и базовых технологий, основные требования и вопросы реализации идеи беспроводного доступа в Интернет, расширенные понятия технологии беспроводного Интернета.

Книга рассчитана на широкую аудиторию, включающую студентов старших курсов университета и аспирантов, инженеров-исследователей, разработчиков систем и других специалистов. Ее структура такова, что позволяет использовать отдельные части книги для лекций по беспроводному Интернету.

Abbas Jamalipour

THE WIRELESS MOBILE INTERNET

Architectures, Protocols and Services



John Wiley & Sons, Ltd

© 2003 John Wiley & Sons Ltd.

Все права защищены. Авторизованный перевод с английского издания
John Wiley & Sons

© 2009 ЗАО «РИЦ «Техносфера» перевод на русский язык, оригинал-макет,
оформление

ISBN 978-5-94836-115-4

ISBN 0-470-84468-X (англ.)

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	11
Выражение признательности	13
Часть I	15
Беспроводной доступ к сети Интернет	15
Глава 1. Введение в технологию беспроводного мобильного Интернета	15
1.1. Телекоммуникационные технологии	15
1.1.1. Телекоммуникации: проводные, беспроводные и сотовые	16
1.1.1.1. Методы множественного доступа	16
1.1.1.2. Сотовая мобильная связь	19
1.1.2. Сеть Интернет: стационарная, беспроводная и мобильная	20
1.2. Тенденции на пути к беспроводному Интернету	22
1.2.1. Методы доступа: фиксированный и мобильный	22
1.2.2. Расширение использования сети Интернет	24
1.2.3. Телекоммуникационные услуги для всех	25
1.2.4. Распространение технологий сотовой мобильной связи	26
1.2.5. Телекоммуникационный трафик: передача речи, данных и мультимедиа	26
1.2.6. Трафик мобильного Интернета	27
1.3. Требования к беспроводному Интернету	28
1.3.1. Расширение сети Интернет за счет мобильности	28
1.3.2. Технические характеристики Интернет-соединения и качество услуг (QoS)	29
1.3.3. Изменения в Интернет-протоколах	30
1.3.4. Аутентификация, авторизация и учет (AAA — Authentication, authorization and accounting)	30
1.3.5. Управление ресурсами	31
1.3.6. Изменение сетевой архитектуры	31
1.4. Общая структура книги	32
Литература	35
Глава 2. Беспроводные сотовые сети передачи данных	37
2.1. Введение	37
2.1.1. Коммутация каналов	38
2.1.2. Коммутация пакетов	38
2.1.3. Сети доступа	40
2.1.4. Базовая сеть	40
2.2. Службы передачи данных в сотовых системах второго поколения (2G)	42
2.2.1. Пакетная цифровая передача данных по сотовой сети (CDPD)	42
2.2.2. Система высокоскоростной передачи данных по коммутируемым каналам (HSCSD)	46
2.3. Последние усовершенствования сотовых сетей для передачи данных	48
2.3.1. Протокол приложений для беспроводной связи (WAP)	48
2.3.2. Технология i-mode	52
2.3.3. Свобода мультимедийного доступа (FOMA)	56
2.4. Органы по стандартизации	57
2.4.1. Международный союз телекоммуникаций (ITU)	57
2.4.2. Европейский институт телекоммуникационных стандартов	59
2.4.3. Форум Универсальной системы мобильной связи (UMTS Forum)	59
2.4.4. Проект сотрудничества третьего поколения (3GPP)	60
2.4.5. Проект 2 сотрудничества третьего поколения (3GPP2)	62
2.4.6. Комитет по инженерным вопросам сети Интернет (IETF)	63
2.4.7. Форум мобильного беспроводного Интернета (MWIF)	65
2.5. Заключение	65
Литература	67
Глава 3. Мобильные сотовые сети	69
3.1. Глобальная система мобильной связи (GSM)	69
3.1.1. Архитектура системы GSM	71
3.1.2. Распределение полосы частот в системе GSM	73
3.1.3. Каналы управления и каналы трафика в системе GSM	73
3.1.4. Возможности системы GSM	76

3.1.5. Архитектура сети GSM	77
3.1.6. DCS1800 и PCS1900	78
3.2. Пакетная радиосвязь общего пользования (GPRS)	79
3.2.1. Архитектура GPRS	81
3.2.2. Новые маршрутизаторы GPRS	82
3.2.3. Сигнализация в GPRS	84
3.2.4. Управление мобильностью GPRS	86
3.3. Усовершенствованная служба универсальной пакетной радиопередачи (EGPRS)	87
3.3.1. Система EGPRS фазы 1	88
3.3.2. Система EGPRS фазы 2	89
3.4. Универсальная система мобильной связи (UMTS)	90
3.4.1. Эволюция на всех логических уровнях	91
3.4.2. Архитектура сети UMTS	93
3.4.3. Опорная сеть и сеть радиодоступа в системе UMTS	95
3.4.4. Режимы работы UMTS	96
3.4.5. Сетевой протокол UMTS	99
3.4.5.1. Физический уровень	99
3.4.5.2. Уровень управления доступом к среде	101
3.4.5.3. Уровень управления радиолинией	102
3.4.5.4. Уровень протокола конвергенции пакетных данных	103
3.4.5.5. Уровень управления радиоресурсами	103
3.4.6. Архитектура открытых сервисов UMTS	104
3.4.6.1. Элементы VNE	104
3.4.6.2. Спецификации SCS в среде VHS	105
3.5. Заключение	107
Литература	108
Глава 4. Сети мобильной связи будущего	110
4.1. Технология IMT-2000	110
4.1.1. Семейство стандартов IMT-2000	111
4.1.2. Система cdma2000	114
4.1.3. Гармонизация стандартов IMT-2000	116
4.2. Пост 3G-системы	118
4.2.1. Мобильные системы 4G: взаимодействующие сети	119
4.2.2. Сети all-IP	121
4.2.3. Модульный подход к мобильным сетям 4G	122
4.2.4. Форум по проблемам беспроводного мобильного Интернета (MWIF)	124
4.3. Приложения будущей технологии мобильного Интернета	129
4.3.1. Общие приложения Интернета	132
4.3.2. Приложения, предназначенные только для мобильной среды	132
4.4. Многоуровневая архитектура будущей мобильной сети Интернет	132
4.4.1. Подход к технологии мобильного Интернета	133
4.4.2. Многоуровневая архитектура	134
4.4.3. Уровень сетевого управления	138
4.4.3.1. Управление мобильностью	139
4.4.3.2. Управление трафиком	140
4.4.3.3. Управление качеством обслуживания	140
4.5. Заключение	141
Литература	142
Часть II	145
Фундаментальные вопросы беспроводных сетей IP	145
Глава 5. Качество обслуживания в мобильной среде	145
5.1. Определение понятия «Качество обслуживания» QoS	145
5.1.1. Требования QoS на уровне пользователя	146
5.1.2. Требования к QoS, диктуемые технологией и параметрами сети	149
5.1.3. Корреляция параметров QoS	152
5.2. Гарантия качества услуг в сетях IP	155
5.2.1. Классификация пакетных данных	155

5.2.2. Изоляция пакетов	156
5.2.3. Эффективное управление сетевыми ресурсами	157
5.2.4. Управления нагрузкой трафика	157
5.2.5. Краткие выводы	158
5.3. Решения по обеспечению качества обслуживания в сети Интернет	159
5.3.1. Интегрированное обслуживание (IntServ)	159
5.3.2. Дифференцированное обслуживание (DiffServ)	161
5.3.3. Сравнение между IntServ и DiffServ	163
5.3.4. IntServ через DiffServ	163
5.4. Обеспечение качества обслуживания в сотовых сетях	164
5.4.1. Поддержка QoS в сети GPRS	164
5.4.2. Поддержка QoS в системе UMTS	165
5.5. Организация обеспечения QoS в мобильных сетях	167
5.6. Выводы	168
Литература	169
Глава 6. Моделирование трафика беспроводных сетей IP	171
6.1. Введение	171
6.1.1. Нарождающиеся тенденции изменения трафика мобильных систем следующего поколения	172
6.1.2. Важность моделирования трафика	173
6.1.3. Критерии моделирования трафика	173
6.2. Модели Пуассона и Маркова	174
6.2.1. Ограниченность моделей Пуассона и Маркова в моделировании трафика	174
6.2.2. Необходимость появления новых моделей трафика	175
6.3. Характеристики развивающегося сетевого трафика	176
6.3.1. Распределение с «тяжелым хвостом» (heavy tailed distribution)	177
6.3.1.1. Распределение Парето	178
6.3.1.2. Распределение Вейбулла	178
6.3.2. Самоподобный трафик	178
6.3.2.1. Показатели самоподобного трафика	179
6.3.2.2. Описание самоподобного трафика	181
6.3.3. Фрактальный трафик	181
6.3.4. Долговременная корреляция (LRD – long-range dependence)	182
6.3.5. Приемлемость самоподобной характеристики и долговременной корреляции	182
6.4. Модели самоподобного трафика и трафика с долговременной корреляцией	184
6.4.1. Модели традиционного трафика	184
6.4.1.1. Пуассоновская модель	184
6.4.1.2. Модель Маркова	185
6.4.1.3. Модулированный процесс Маркова	185
6.4.2. Современные и будущие модели	186
6.4.2.1. Жидкостная модель трафика (fluid traffic model)	186
6.4.2.2. Самоподобная модель	186
6.4.2.3. Модели долговременной корреляции	187
6.4.3. Модели трафика для приложений сети Интернет	190
6.4.3.1. Трафик электронной почты (e-mail)	190
6.4.3.2. Трафик WWW	190
6.4.3.3. Трафик FTP	194
6.5. Модели трафика с долговременной и кратковременной корреляцией	194
6.5.1. Модели самоподобного трафика	196
6.5.2. Модели трафика с долговременной корреляцией	197
6.6. Заключение	198
Литература	199
Глава 7. Управление трафиком в беспроводных сетях IP	201
7.1. Введение	201
7.2. Контроль допуска	206
7.2.1. Контроль допуска на основе параметров	207
7.2.1.1. Детерминистский контроль допуска	207
7.2.1.2. Стохастический контроль допуска	207

7.2.1.3. Недостатки методов контроля допуска на основе параметров	207
7.2.2. Контроль допуска на основе измерений	208
7.2.2.1. Преимущества метода MBAC	208
7.2.2.2. Недостатки метода MBAC	209
7.2.3. Параметры качества обслуживания	210
7.3. Беспроводные сети IP	211
7.3.1. Сети беспроводного доступа	211
7.3.2. Беспроводная локальная сеть стандарта IEEE 802.11	212
7.3.2.1. Основная структура беспроводной сети	212
7.3.2.2. Конфигурации беспроводной сети	212
7.3.3. Уникальные характеристики беспроводных локальных сетей	213
7.3.3.1. Характеристики физического канала	213
7.3.3.2. Мобильность пользователей	214
7.3.3.3. Различные требования QoS	214
7.3.3.4. Предложения IETF по приложениям реального времени	215
7.3.4. Контроль допуска в беспроводных IP-сетях	215
7.4. Контроль допуска на основе измерений — MBAC	217
7.4.1. Оценка нагрузки сети	217
7.4.1.1. Простое суммирование	217
7.4.1.2. Суммирование измерений	218
7.4.1.3. Зона приема	218
7.4.1.4. Эквивалентная полоса пропускания	218
7.4.2. Параметры измерений	219
7.4.2.1. Период выборки	220
7.4.2.2. Размер окна измерений	220
7.4.2.3. Оценка средней интенсивности входного потока	220
7.4.3. Возможные источники ошибок	220
7.4.3.1. Ошибка оценки параметров	221
7.4.3.2. Неправильное решение допуска	221
7.4.4. Приемлемость MBAC для беспроводных IP-сетей	222
7.5. Реализация контроля допуска на основе измерений (MBAC)	224
7.5.1. Базовая модель сети	224
7.5.2. Характеристики беспроводных IP-сетей	224
7.5.3. Имитационное моделирование	225
7.5.3.1. Структура имитационного моделирования	225
7.5.3.2. Критерии допуска	228
7.5.3.3. Процедура MBAC	228
7.6. Параметры управления трафиком	228
7.6.1. Выбор параметров	228
7.6.1.1. Коэффициент формы кривой распределения Парето	229
7.6.1.2. Период выборки	230
7.6.1.3. Размер окна измерений, T232	231
7.6.1.4. Другие допущения, использованные при моделировании	232
7.6.1.5. Обоснование подхода на основе измерений	233
7.6.2. Проверка результатов имитационного моделирования	233
7.7. Сравнение методов резервирования с методами приоритетности	236
7.7.1. Без резервирования и установления приоритетности	236
7.7.1.1. Без толерантности к задержке	237
7.7.1.2. Включение параметра толерантности к задержке	237
7.7.1.3. Влияние «жадных» пользователей	240
7.7.2. Резервирование	245
7.7.2.1. Без толерантности к задержке	246
7.7.2.2. Введение параметра толерантности к задержке	250
7.7.3. Приоритетность	256
7.7.3.1. Без толерантности к задержке	256
7.7.3.2. Применение толерантности к задержке	263
7.7.4. Сравнение методов приоритетности и резервирования	272
7.7.4.1. Без толерантности к задержке	272
7.7.4.2. Введение толерантности к задержке	273

7.8. Выводы	274
Литература	275
Глава 8. Мобильность в сотовых сетях	277
8.1. Введение	277
8.2. Модели мобильности	279
8.2.1. Модели топологии сети	280
8.2.1.1. Регулярная топология	281
8.2.1.2. Нерегулярная топология	282
8.2.2. Модели движения	282
8.2.2.1. Жидкостная модель	284
8.2.2.2. Модель случайного движения	284
8.2.2.3. Марковская модель (первого порядка)	285
8.2.2.4. Модель конечного контекста	285
8.2.2.5. Гауссовско-марковская модель	286
8.2.2.6. Функционально-ориентированная модель	287
8.2.2.7. Модель кратчайшего расстояния	288
8.2.2.8. Трассы мобильности	288
8.2.3. Модели времени удержания ячейки (residence time model)	289
8.2.3.1. Длительность неограниченного сеанса	291
8.2.3.2. Время удержания канала	293
8.2.3.3. Среднее количество передач обслуживания на один вызов	293
8.2.4. Модели поступления вызова (call-arrival models)	294
8.3. Методы контроля местоположения	295
8.3.1. Стратегии обновления данных о местоположении	295
8.3.1.1. Метод обновления данных местоположения на основе зоны	297
8.3.1.2. Метод обновления данных местоположения на основе зоны трех размещений	298
8.3.1.3. Метод обновления данных местоположения на основе профиля (Profile-based)	299
8.3.1.4. Метод вероятностного положения (Probabilistic location)	300
8.3.1.5. Метод на основе компрессии (Compression-based)	300
8.3.1.6. Метод на основе установления порогов (Threshold assignment)	301
8.3.1.7. Метод на основе состояния (State-based)	303
8.3.1.8. Метод на основе установления адаптивного к нагрузке порога	304
8.3.1.9. Метод на основе направления (Direction-based)	304
8.3.1.10. Метод на основе фильтра Калмана (Kalman filter-based)	305
8.3.1.11. Метод на основе адаптируемого расстояния (Adaptive distance-based)	308
8.3.1.12. Метод на основе регистрации динамичного положения (Dynamic location register)	308
8.3.1.13. Метод на основе прогнозируемого расстояния (Predictive distance-based)	309
8.3.1.14. Метод на основе вида деятельности (Activity-based)	309
8.3.2. Поисковый вызов (пейджинг)	311
8.3.2.1. Опрос с сигналами гашения (blanking polling)	311
8.3.2.2. Последовательный поисковый вызов	312
8.3.2.3. Выборочный поисковый вызов (Selective paging)	314
8.3.2.4. Секционный поисковый вызов (Sectional paging)	315
8.3.3. Заключительные комментарии	318
8.3.3.1. Метод продвижения (переадресация) указателя (Pointer forwarding scheme)	318
8.3.3.2. Метод привязки положения (Location anchoring scheme)	318
8.3.3.3. Тиражирование профиля пользователя (User profile replication)	319
8.4. Аналитические основы управления локализацией	320
8.4.1. Факторы, влияющие на производительность системы	320
8.4.1.1. Определение эксплуатационных затрат	321
8.4.1.2. Характеристики вызова и мобильности	321
8.4.1.3. Ограничение по задержке поискового вызова	322
8.4.2. Функция общих затрат	322
8.4.2.1. Анализ чувствительности	323
8.4.3. Затраты на обновление данных о местоположении	324
8.4.3.1. Метод расчета на основе Марковской модели	324
8.4.3.2. Анализ на основе Марковской модели для двухмерной топологии	331
8.4.3.3. Модифицированная аналитическая основа для двухмерной топологии	340

8.4.4. Установление оптимальной границы	342
8.4.4.1. Динамическое установление оптимального LA в двухмерной топологии	343
8.4.4.2. Поисковый вызов на основе состояния/регистрация: жадный (поглощающий) метод:	347
8.4.4.3. Алгоритм обновления местоположения на основе адаптивного расстояния	350
8.4.5. Затраты на операции поискового вызова	352
8.4.5.1. Количество сигналов поискового вызова	352
8.4.5.2. Средняя задержка	355
8.4.6. Алгоритмы разделения (Partition algorithms)	355
8.4.6.1. Метод разделения по принципу «сначала кратчайшие расстояния»	356
8.4.6.2. Метод выборочного поискового вызова	357
8.4.6.3. Метод разделения по принципу: сначала наиболее вероятные	358
8.4.6.4. Метод оптимального разделения	358
8.5. Выводы	359
Литература	360
Глава 9. Транспортные протоколы для беспроводных сетей IP	364
9.1. Введение	364
9.2. Общее представление о протоколе TCP	366
9.2.1. Архитектура TCP/IP	366
9.2.2. Основные возможности протокола TCP	368
9.2.3. Структура сегмента TCP	369
9.2.4. Управление потоком в TCP	370
9.2.5. Механизм тайм-аута TCP	370
9.2.6. Контроль перегрузки в TCP	371
9.2.7. Некоторые заключения по протоколу TCP	374
9.3. Протокол управления передачей (TCP) для беспроводных каналов	375
9.3.1. Изучение проблемы	375
9.3.2. Ожидаемая производительность TCP в беспроводных каналах	377
9.3.3. Усовершенствования TCP	379
9.4. Протокол ELN- АСК	381
9.4.1. Новая форма подтверждения приема пакета	382
9.4.2. Новый агент на базовой станции	383
9.4.3. Процедура, выполняемая отправителем TCP	384
9.5. Оценка производительности	384
9.5.1. Имитационная среда	385
9.5.2. Оценка производительности	385
9.5.3. Оценка параметра задержки	388
9.5.4. Эффективность функционирования окна перегрузки	390
9.6. Протоколы управления передачей для сотовых сетей	391
9.7. Выводы	393
Литература	394
Глава 10. Протокол Internet для беспроводных сетей IP	396
10.1. Введение	396
10.2. Общее представление о протоколе Internet	397
10.2.1. Иерархическая маршрутизация в сети Интернет	398
10.2.1.1. Протокол маршрутной информации (RIP)	399
10.2.1.2. Протокол первоочередного открытия кратчайших расстояний (OSPF)	399
10.2.1.3. Протокол внутреннего шлюза маршрутизации (IGRP)	400
10.2.1.4. Пограничный сетевой протокол (BGP)	400
10.2.2. Протокол управляющих сообщений в сети Интернет (ICMP)	400
10.2.3. Основные возможности протокола Internet	401
10.2.3.1. Классовая и бесклассовая адресация	402
10.2.3.2. Фрагментация и повторная сборка IP-дэтиграмм	404
10.3. Протокол Internet, версия 6 (IPv6)	404
10.3.1. Мотивировки для разработки IPv6	405
10.3.2. Формат заголовка IPv6	405
10.3.3. Эволюция протокола IP	407
10.3.3.1. Подход с двумя стеками (dual-stack)	407

10.3.3.2. Подход с инкапсуляцией	408
10.3.4 Состояние разработок IPv6 на текущий момент	409
10.3.4.1. Поддержка поставщиков	409
10.3.4.2. Поддержка со стороны пользователей	410
10.3.5. Беспроводной доступ к среде: направление для развития IPv6	410
10.4. Протокол Mobile IP	411
10.4.1. Общее представление о протоколе	411
10.4.1.1. Регистрация	413
10.4.1.2. Туннельный переход и маршрутизация	413
10.4.2. Вопросы эффективности функционирования Mobile IPv4	415
10.4.2.1. Управление локализацией	415
10.4.2.2. Управление маршрутизацией	416
10.4.2.3. Управление процессом передачи обслуживания (эстафетной передачи)	417
10.4.3. Протокол Mobile IPv6	418
10.4.4. Передача обслуживания в Mobile IPv6 (хэндовер)	419
10.4.4.1. Передача обслуживания, контролируемая с мобильного узла	419
10.4.4.2. Передача обслуживания, контролируемая сетью	420
10.4.5. Иерархические агенты мобильности	421
10.5. Протоколы Cellular IP и HAWAII	421
10.5.1. Протокол Cellular IP	422
10.5.2. Сеть HAWAII	424
10.5.3. Сравнение протокола Cellular IP с HAWAII	425
10.6. Заключение	425
Литература	427
Часть III	429
Специальные вопросы беспроводных сетей IP	429
Глава 11. Перспективы развития беспроводных сетей IP	429
11.1. Передача пакетных данных	429
11.1.1. Уровень доступа	431
11.1.2. Канальный уровень	432
11.1.3. Сетевой уровень	432
11.1.4. Уровень обеспечения безопасности	432
11.2. Передача пакетных данных — функциональная модель	433
11.2.1. Собственный агент (Home agent)	433
11.2.2. Узел обеспечения передачи пакетных данных (PDSN)	434
11.2.3. Аутентификация, авторизация и учет (AAA)	434
11.2.3.1. AAA в сети сервис-провайдера	434
11.2.3.2. AAA в собственной сети IP	435
11.2.3.3. AAA в сети брокера	435
11.2.4. Функция управления пакетами	436
11.2.5. Управление ресурсами радиосети	436
11.2.6. Подвижная станция	436
11.3. Модели архитектуры	437
11.4. Заключение	440
Литература	441
Глава 12. Мобильные сети ad hoc и предстоящие задачи	443
12.1. Введение в мобильные сети ad hoc	443
12.1.1. Беспроводная локальная вычислительная сеть	443
12.1.2. Создание сетей ad hoc с использованием БЛВС локальной сети	445
12.1.3. Спецификации IEEE 802.11	446
12.2. Комплексное управление энергопотреблением в сетях ad hoc	448
12.2.1. Мощность потребления устройств	448
12.2.2. Управление мощностью	449
12.3. Протокол управления доступом к среде (MAC) в сетях ad hoc	450
12.4. Поддержка качества обслуживания в сетях ad hoc	451
12.5. Архитектуры поиска служб в сети ad hoc	452
12.6. Модели и стимулы продвижения данных	454

12.7. Адресация в сетях ad hoc и присваивание имен	455
12.8. Внеочередное соединение и приоритетное прерывание обслуживания	456
12.9. Выводы	458
Литература	458
Глава 13. Спутники связи в беспроводных сетях IP	460
13.1. Введение	460
13.2. Обзор спутниковых систем связи	461
13.2.1. Услуги мобильной спутниковой телефонной связи первого поколения	461
13.2.2. Услуги мобильной спутниковой телефонной связи второго поколения	462
13.2.3. Широкополосные системы спутниковой связи	463
13.3. Спутник для глобального Интернета	465
13.3.1. Архитектура соединения спутников	466
13.3.2. Сферы применения спутников	467
13.4. Спутники в беспроводных сетях третьего поколения	469
13.5. Технические вопросы реализации сети Интернет на основе спутниковых систем	472
13.5.1. Управление мобильностью	472
13.5.2. Контроль местоположения	474
13.5.3. Управление маршрутизацией	474
13.5.4. Управление передачей обслуживания	474
13.5.5. Управление качеством услуг	475
13.6. Управление мобильностью в спутниковых и наземных сетях	476
13.6.1. Спутниковые системы	476
13.6.2. Сотовые сети	477
13.6.3. Сравнение процессов управления передачей обслуживания и контроля местоположения	478
13.7. Транспортировка трафика Интернета через спутниковые системы	478
13.7.1. Недостатки протокола TCP	479
13.7.2. Усовершенствования протокола TCP	480
13.8. Выводы	481
Литература	483
Список акронимов	485
Об авторе	495

ПРЕДИСЛОВИЕ

Как преподаватель систематических лекций по технологии мобильного и беспроводного Интернета, проведенных за последние пять лет на основных международных конференциях, в компаниях и университетах, а также как исследователь в этой области я всегда сталкивался с трудностью подбора полной литературы, где я мог бы почерпнуть знания, необходимые для моих исследований этой важной сферы. В последние годы промышленные и научные эксперты опубликовали много книг о GSM, CDMA, UMTS и cdma2000 для сотовых сетей и много других книг касательно сетей обмена данными, Mobile IP, сотового IP и мобильности IP для реализации IP технологий в мобильной среде. У меня была возможность прочитать почти все эти книги и изучить многочисленную соответствующую техническую документацию, изданную в ходе международных конференций, а также журналы, научно-популярные издания и протоколы. С одной стороны, эти книги о типах сотовой связи в основном объясняли концепции физического и канального уровней в системах беспроводной сотовой связи как второго, так и третьего поколения, приводя небольшое концептуальное описание сети. И еще меньше они содержали информации о том, как системы сотовой связи могут стать основной инфраструктурой для будущего беспроводного доступа к Интернету. С другой стороны, книги, рассчитанные на размещение в сети Интернет, были сфокусированы на архитектуре сети, эталонной модели и механизме внедрения IP технологий в мир мобильной связи с получением небольшой помощи от исследовательского сообщества сотовой связи. Техническая документация, будь то обзорная литература и учебные пособия или же издания научно-исследовательского характера, давала только отдельную информацию в ограниченном объеме. В конце концов, я пришел к заключению, что пока каждый отдельный текст опубликованной литературы дает обилие информации исследователям технологии беспроводного и мобильного Интернета, ни один из них не может быть взят в качестве текста, основанного на глубоких знаниях исследователей, особенно по вопросам организации сетей. Ввиду этого у меня родилась идея написать книгу (ее вы сейчас держите в руках), которая стала бы первым полным изданием о беспроводном доступе к Интернету.

Основное содержание и структура книги *«Беспроводной мобильный Интернет»* были разработаны в ходе многих лекций, которые я провел за прошедшие пять лет на тему технологии беспроводного и мобильного Интернета. Порядок глав и их соответствующее содержание пересматривались снова и снова по мере получения информации в процессе обратной связи с аудиторией. Основополагающие знания аудитории по данному вопросу были очень разносторонние. Некоторые участники занимались новыми исследованиями в этой области, некоторые были аспирантами и профессорами в университете, инженерами и руководителями научно-исследовательских отделов правительственных агентств и телекоммуникационной промышленности. Соответственно информация, полученная в процессе обратной связи с аудиторией, повлиявшая на содержание и презентационный вид моей книги, была тоже разносторонняя. В результате этого многое было удалено из первоначального содержания, а многие моменты были добавлены в каждой главе, так как я обнаружил, что могу написать книгу, нацеленную на широкий

диапазон потенциальных читателей. Я сделал вывод, что необходимо включить все материалы, требуемые для понимания данного вопроса, а также обозначить вопросы первостепенной важности. Используя эту стратегию, основанную на информации, полученной от аудитории, я с удовлетворением вижу, что книга «*Беспроводной мобильный Интернет*» завершена в надлежащем логическом и модульном формате, и наиболее важным является тот факт, что книга охватывает все необходимые материалы. Я высоко ценю вклад всех тех, кто позволил сформировать книгу в ее настоящем виде.

Книга «*Беспроводной мобильный Интернет*» написана таким образом, что она не является чисто научным изданием либо изданием, нацеленным на производство. Содержание данной книги будет бесспорно интересно как научным исследователям, так и производственникам. Некоторые главы книги «*Беспроводной мобильный Интернет*» описывают стандартную деятельность и текущий статус разработок по беспроводному доступу к сети Интернет, в других главах детализируются модели и особые технические методы, обычно рассматриваемые научными исследователями. Я убежден, что данная комбинация окажет значительное воздействие для того, чтобы направить разработки по беспроводному доступу к сети Интернет в нужное русло, так как за годы моей трудовой деятельности у меня был опыт работы с высшими учебными заведениями и промышленными предприятиями.

Книга «*Беспроводной мобильный Интернет*» написана так, чтобы охватить широкую сферу аудитории, начиная со студентов старших курсов университета до аспирантов, инженеров-исследователей, разработчиков систем и других специалистов. Структура книги «*Беспроводной мобильный Интернет*» устроена так, что отдельно взятые из нее части можно использовать для лекций по беспроводному Интернету. Первая часть, включающая главы с 1 по 4, дает исчерпывающую информацию по определению беспроводного доступа к сети Интернет и опорных технологий. Вторая часть состоит из шести глав. В ней обсуждаются основные требования и вопросы по реализации идеи беспроводного доступа к Интернету. В последней части, включающей три главы, приводятся расширенные понятия о технологии беспроводного Интернета и обобщения на глобальной основе. Поэтому, в целом, книга может быть использована в качестве полного издания касательно технологии беспроводного мобильного Интернета, требований и практики внедрения, тогда как отдельные части книги можно заказать и использовать в качестве тематики для более специализированных курсов по данному предмету. Подробности по содержанию трех частей книги включены в окончательный раздел главы 1.

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ

Во время осуществления данного проекта я получил неоценимую помощь и содействие со стороны многих людей, которым я хочу выразить свою признательность. Многие результаты исследований, которые вошли в книгу *«Беспроводной мобильный Интернет» (Wireless Mobile Internet)*, были взяты из моих научных исследований, которые я проводил в г. Сиднее со своими аспирантами. Джейд Ким (Jade Kim), мой бывший аспирант, а в настоящее время занимающий должность инженера-исследователя в Ericsson Research в г. Сан Диего, Калифорния, сделал большой вклад в написание глав, посвященных моделированию трафика и процессу управления трафиком. Мой другой аспирант, Трейси Танг (Tracy Tung), собрал основные материалы по процессам управления мобильностью и положением, которые вошли в главу 8. Так как я считаю, что создание мобильных сетей ad hoc имеет очень большое значение для реализации будущих беспроводных сетей IP, то обратился с просьбой к своему другу С-К. То (С-К. Toh), (бывшему профессору в Georgia Institute of Technology, GA, а сейчас руководителю научно-исследовательских работ в TRW Systems, Калифорния, который является специалистом в области мобильных сетей ad hoc), написать главу, посвященную данной теме, для моей книги. Его великодушный вклад в раскрытие темы мобильных сетей ad hoc представлен в главе 12, после небольшой вводной части, написанной мною.

Слушатели кратких курсов, которые я проводил на тему технологии мобильного беспроводного Интернета, стали анонимными критиками этой книги, и без неоценимого вклада, который я получил в процессе общения с аудиторией, я бы не знал, каким образом построить структуру книги *«Беспроводной мобильный Интернет»*. Раймонд Стилз (Raymond Steels) — председатель Multiple Access Communications Limited, который долгие годы занимался исследованиями телекоммуникационных систем, побудил меня взяться за выполнение данного проекта во время нашей встречи в г. Калгари, Канада. Я никогда не забуду помощь, которую я получил от организационных комитетов многих международных конференций, таких как IEEE Global Telecommunications Conference (Конференция по глобальным телекоммуникациям комитета IEEE), IEEE International Conference of Communications (Международная конференция коммуникаций IEEE), IEEE Wireless Communications and Networking Conference (Конференция по беспроводной связи и организации беспроводных сетей IEEE), IEE High Performance Switching and Routing Conference (Конференция по повышению эффективности процессов коммутации и маршрутизации IEEE), IEEE Vehicular Technology Conference (Конференция по связи с подвижными объектами IEEE), TR Labs Annual International on Wireless Communications (Ежегодная Международная конференция TR Labs по беспроводной связи) и другие конференции, проводимые в период с 2000 г. по 2002 г., которые позволили мне проанализировать мои идеи, представленные в качестве учебных пособий в специальных программах. Мои заметки в процессе лекций, включенные в эти учебные пособия, стали основным источником для написания книги *«Беспроводной мобильный Интернет»*.

Я хочу поблагодарить персонал, работающий в компании Wiley в Чичестере, который помогал мне опубликовать эту книгу. Особенно я хочу выразить признательность редакторам Салли Мортимер (Sally Mortimer) и Биргит Грубер (Birgit

Gruber), которые терпеливо на протяжении многих лет помогали мне в осуществлении данного проекта, завершение которого откладывалось из-за моих обязанностей в университете и других сферах. Комментарии анонимных критиков, изучивших содержание данной книги по просьбе Wiley, действительно были мне очень полезны. Также хочу поблагодарить за прекрасно проделанную работу оформителей компании Wiley и других членов редакторской группы.

Я очень благодарен за поддержку и терпение, проявленное членами моей семьи, Зохре (Zohreh) и моими сыновьями Соруш (Soroush) и Сепер (Sepehr), во время всех долгих дней и ночей, потраченных мною на написание данной книги, несмотря на то, что это время я должен был отвести на общение с ними. Страстные увлечение и азарт, с которыми Соруш и Сепер пользуются возможностями Интернета, доказали большую необходимость написать книгу на тему беспроводного доступа к сети Интернет и еще раз подтвердили, что, когда они станут взрослыми, Интернет будет служить им независимо от того, где они будут жить и чем заниматься. Надеюсь, что их поколение будет пользоваться преимуществами сети, представленной в книге *«Беспроводной мобильный Интернет»* и других книгах на эту тему, которые будут изданы в будущем.

Я также хочу поблагодарить всех, кто каким-то образом был вовлечен в процесс воплощения в жизнь моего проекта. Я надеюсь, что с помощью книги *«Беспроводной мобильный Интернет»* я смогу внести свою скромную лепту в архив знаний по этому крайне важному предмету и читатели найдут данную книгу полезной для использования в своих исследованиях в течение долгих лет.

Аббас Джамалипур (Abbas Jamalipour)
Сидней, 2002

ЧАСТЬ I

БЕСПРОВОДНОЙ ДОСТУП К СЕТИ ИНТЕРНЕТ

ГЛАВА 1

ВВЕДЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЮ БЕСПРОВОДНОГО МОБИЛЬНОГО ИНТЕРНЕТА

Технология беспроводного доступа в Интернет, казавшаяся фантазией всего несколько лет назад, в настоящее время развивается столь стремительно, что может в корне изменить всю структуру телекоммуникационной отрасли. Метод беспроводного доступа в Интернет — это не просто расширение сети Интернет в мобильную среду, позволяющее перемещающемуся абоненту мобильной связи пользоваться сервисом сети Интернет. Речь идет об интегрировании технологий сети Интернет и телекоммуникационных технологий в одну единую систему, охватывающую все потребности человека в информационном обмене. Значительный прогресс, достигнутый за последнее десятилетие в области технологии беспроводного доступа, методов коммутации и маршрутизации в сети Интернет, разработок совершенной аппаратуры и изощренного программного обеспечения, позволяет воплотить в жизнь наши мечты о такой всеобъемлющей сети Интернет. Первые услуги мобильного Интернета, основанные на технологиях сотовой связи, уже позволяют пользователям реально ощутить преимущества беспроводной мобильной сети Интернет. Но все же для достижения устойчивых результатов для такой сети необходимо проводить дальнейшие исследования в этой области. В первой главе мы рассмотрим основные телекоммуникационные технологии, а затем приведем статистические данные по мировым тенденциям в развитии технологии беспроводного доступа к Интернету. Эти тенденции характерны для ведущих телекоммуникационных технологий и Интернет-приложений. В этой главе дается также общее представление об ограничениях метода беспроводного доступа в Интернет.

1.1. Телекоммуникационные технологии

Создание беспроводных сетей является одним из самых значительных технологических прорывов человечества в течение нескольких последних десятилетий. Еще двадцать лет назад можно было лишь с трудом предположить, что услуги связи будут предоставляться независимо от географического местонахождения людей при

их переезде с места на место, а сейчас многие не могут представить свою жизнь без возможной в любой момент связи по мобильному телефону.

Буквально в последние годы телекоммуникационные технологии были настолько улучшены, что порой начинаешь сомневаться в возможностях их дальнейшего совершенствования. Каков же будет следующий прорыв в этой столь быстро развивающейся отрасли? Можно ли добавить что-либо еще к услугам связи? На чем завершится прогресс телекоммуникационной индустрии, и когда наступит этот момент?

1.1.1. Телекоммуникации: проводные, беспроводные и сотовые

Услуги электросвязи начались с телефонной связи; самой естественной потребностью людей является речевое общение, причем независимо от того, находятся ли они в одном месте или же за тысячи километров друг от друга. Изобретение проводной телефонной связи удовлетворило это естественное желание и по праву считается одним из величайших достижений своего времени. Однако даже при таком выдающемся достижении потребовалось 75 лет, чтобы абонентами проводной телефонной сети стали первые 50 миллионов человек.

Появление радио после открытия электромагнитных волн ознаменовало собой начало новой эры в истории электросвязи. Замена проводов на эфирное пространство как среду для передачи сигналов связи привела к возникновению новых идей в развитии систем связи. Исследователи начали работать над совершенствованием методов передачи в эфир все большего объема информации. Были разработаны новые алгоритмы кодирования для того, чтобы улучшить качество принимаемого радиосигнала. Для увеличения количества пользователей, имеющих доступ к одному и тому же частотному спектру, и совместного использования ими имеющихся частотных ресурсов были изобретены различные методы аналоговой модуляции. Радио- и телевизионное вещание завоевали мировой потребительский рынок. В частности, с телевидением появилось средство визуального общения людей, что, конечно, желательнее передачи одного только голоса, а спутниковая связь позволила передавать радио- и телевизионные сигналы в любую часть земного шара буквально за считанные секунды. Но и этим передовым техническим достижениям потребовалось некоторое время, чтобы получить достаточно широкое распространение. Радиовещание приобрело первых 50 миллионов слушателей через 35 лет, а столь популярному телевидению потребовалось 13 лет, чтобы получить такое же количество зрителей. И это было только начало развития беспроводной связи.

1.1.1.1. Методы множественного доступа

Использование ресурсов телекоммуникаций стало расти так бурно, что специалисты приступили к поиску методов эффективного совместного использования этих ресурсов. С самого начала было установлено, что ресурсы систем связи

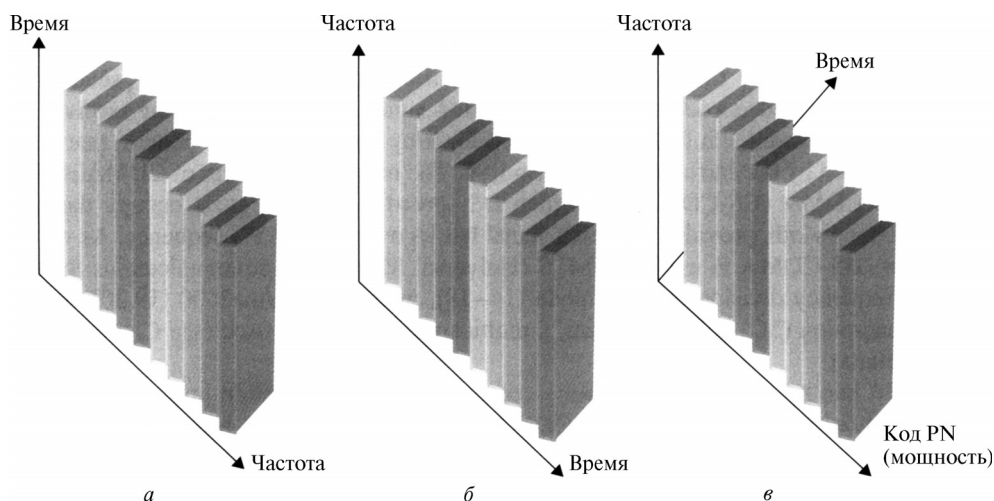


Рис. 1.1. Распределение ресурсов систем связи в соответствии с разными методами множественного доступа: (а) с частотным разделением каналов (FDMA); (б) с временным разделением каналов (TDMA) и (в) с кодовым разделением каналов (CDMA) PN Code (power) — псевдослучайный код (мощность)

ограничены, независимо от того, используется ли для передачи кабель или эфир. Поэтому начали разрабатываться методы множественного доступа. Дискуссии по поводу различных методов множественного доступа можно найти во всех классических изданиях по связи общего характера [1–4] и в более специализированных работах [5–13]. Исследования частотной модуляции (ЧМ) натолкнули на мысль о возможности совместного использования (разделения) выделенной частотной полосы многими пользователями, чтобы они могли одновременно передавать сигналы по разным частотным каналам. В результате была разработана технология множественного доступа с частотным разделением каналов — FDMA (frequency division multiple access). В методе FDMA, как показано на рис. 1.1 (а), каждому пользователю выделяется небольшая часть частотного спектра, или частотный канал в пределах имеющихся частотных полос. Небольшой участок спектра выделяется каждой паре соседних частотных каналов в качестве защитной полосы частот для уменьшения интерференции от смежных каналов.

Первые беспроводные системы, включая спутниковые системы связи, использовали технологию FDMA в качестве основного метода обслуживания многих пользователей. Одной из причин для данного выбора послужил тот факт, что ЧМ более устойчива к нелинейности характеристик тракта передачи, поэтому аналоговые усилители на спутнике могут работать с высоким коэффициентом усиления в режиме, где усиление уже не является линейным процессом.

Исследования в области цифровой связи и методов аналого-цифрового преобразования позволили понять, что разделение каналов во времени при использовании одной и той же полосы частот явилось бы лучшей альтернативой по сравнению с FDMA. Поэтому был изобретен механизм множественного доступа с временным разделением каналов — TDMA (time division multiple access). Данный метод позво-

ляет многим пользователям использовать всю имеющуюся полосу частот, при этом соответствующая информация передается в разные интервалы времени, называемые временными, или канальными, интервалами (слотами), как показано на рис. 1.1 (б). Каждая пара смежных временных слотов разделяется коротким промежутком времени, представляющим собой защитный интервал для снижения помех от соседних каналов. Завершением этого этапа развития цифровой связи стало изобретение импульсно-кодовой модуляции, ИКМ (PCM, pulse code modulation), применение которой позволяет передавать через разделяемую среду меньший объем информации, однако этого объема достаточно для восстановления исходной информации отправителя. Развитие метода ИКМ произошло благодаря опубликованию теоремы отсчетов Найквиста. Оба метода — TDMA и FDMA — можно охарактеризовать как бесконфликтные протоколы. Действительно, передачи пользователей во временной (TDMA) или в частотной (FDMA) области контролируются и поэтому не возникает конфликта при попытках доступа к каналам, как это, например, происходит в системе с полностью случайным множественным доступом Aloha [8].

Не так давно для использования ресурсов беспроводных каналов в качестве коммерческих технологий стали применяться методы множественного доступа с кодовым разделением каналов — CDMA (code division multiple access) [9–12]. В системе CDMA сигналы пользователей занимают весь отведенный ей частотный спектр на протяжении всего времени передачи. Однако эти сигналы отличаются друг от друга, поскольку в каждом из них используется особый код, закрепленный за соответствующим пользователем, как показано на рис. 1.1 (в). В любой момент времени некоторое подмножество пользователей системы может одновременно передавать информацию соответствующим приемникам по общему каналу связи. Передаваемые сигналы в общем спектре можно сделать отличимыми друг от друга путем наложения уникальной псевдослучайной (или псевдошумовой, PN, pseudonoise) последовательности, называемой кодом, для каждого передаваемого сигнала. Поэтому каждый отдельный приемник может извлечь передаваемую ему информацию, зная PN-код, то есть последовательность, использованную соответствующим передатчиком.

Наиболее распространенной разновидностью CDMA является CDMA с прямым расширением спектра (DS-CDMA, direct sequence CDMA). Здесь сигналы с расширенным спектром передаются с одной и той же несущей частотой и занимают одну и ту же ширину частотной полосы, при этом каждый сигнал имеет индивидуальную PN-последовательность. Далее мы увидим, что DS-CDMA применяется в системе мобильной связи UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) в режиме дуплексной передачи с частотным разделением каналов — FDD (frequency division duplex) [14–18], тогда как в системе cdma2000 [19, 20] — другой системе сотовой связи третьего поколения (3G) — используется CDMA с несколькими несущими (подробности см. в главах 3 и 4).

В зависимости от состояния канала CDMA можно рассматривать либо как протокол доступа к каналу без конкуренции, либо как соревновательный протокол доступа. CDMA является протоколом без конкуренции, если количество одновременно осуществляемых передач в канале (или же уровень интерференции, обусловленной множественным доступом) ниже установленного порога, при котором система еще может успешно обработать все передачи. CDMA является соревновательным протоколом, если уровень помех выше заданного порога, в результате чего возникает ситуация соперничества и потери всех пакетов, од-

новременно передаваемых в эфире. По этой причине система с CDMA относится к системам с ограничением по мощности (ограничивается общей мощностью помех от других пользователей) в отличие от TDMA и FDMA, которые являются системами, ограниченными шириной полосы канала.

1.1.1.2. Сотовая мобильная связь

Прогресс в развитии радиосвязи, методов множественного доступа и алгоритмов кодирования определил средства реализации мобильной связи для персональных пользователей. Так началась новая эра систем (служб) персональной связи — PCS (Personal Communication Services). Одновременно достижения в сфере проектирования и изготовления электронных схем позволили реализовать многие разработанные алгоритмы систем связи на всего лишь одной микросхеме. Все эти достижения проложили дорогу для развития мобильной связи. Популярность мобильной связи для речевого общения и большой прогресс в развитии технологии сверхбольших интегральных схем (СБИС) привели к разительному снижению цен на услуги и аппаратуру мобильной связи за очень короткий период времени. Поэтому всего за 12 лет существования мобильная связь уже завоевала первые 50 миллионов абонентов, опередив даже радио и телевидение, которые считались наиболее привлекательными телекоммуникационными услугами.

В системах PCS была использована концепция сотовой структуры для того, чтобы добиться максимальной спектральной эффективности путем повторного (или многократного) использования частот, когда в сотах, находящихся достаточно далеко друг от друга, используется одна и та же частотная полоса. Например,

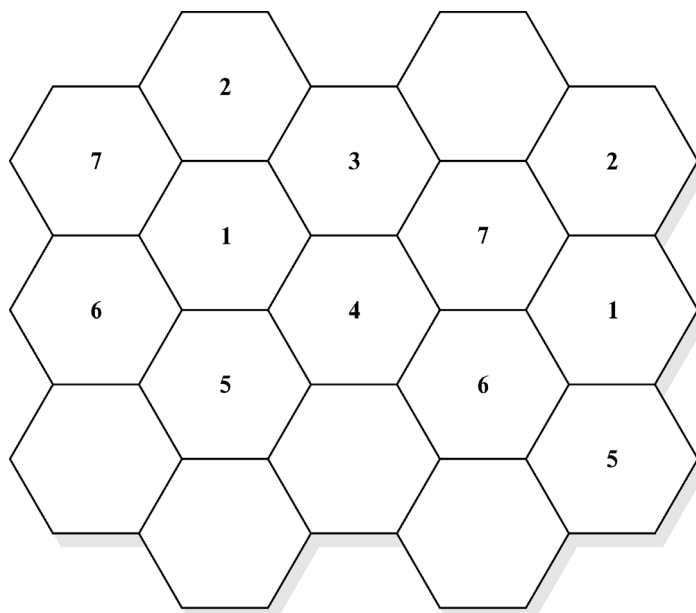


Рис. 1.2. Основные концепции системы мобильной связи с сотовой структурой и многократным использованием частот

в структуре многократного использования частот на базе семи сот, показанной на рис. 1.2, весь диапазон радиочастот, выделенный службе сотовой связи, разделен максимум на семь подполос. Из этого рисунка видно, что в то время как соседние соты используют разные подполосы, пары сот, находящиеся на достаточном расстоянии друг от друга, могут использовать одну и ту же частотную подполосу. Каждая цифра, показанная в соте на этом рисунке, обозначает отдельную частотную подполосу, используемую в этой соте. Все современные сотовые системы мобильной связи используют схожую концепцию.

Рассмотренная концепция сотовой связи может применяться и в системах FDMA, чтобы одни наборы частотных полос использовались более одного раза в группах сот, расположенных достаточно далеко друг от друга. Ее можно использовать и в системах CDMA для снижения уровня помех множественного доступа от пользователей соседних сот, увеличивая тем самым емкость системы. Она также может применяться и в системах TDMA для увеличения емкости системы, обслуживая большее количество пользователей за счет комбинирования методов TDMA и FDMA.

1.1.2. Сеть Интернет: стационарная, беспроводная и мобильная

Прежде считалось, что в полный комплект услуг телекоммуникаций входят радио- и телевидение, а также передача речи с использованием проводных и мобильных телефонов. Это было справедливо до того момента, когда стали доступны персональные компьютеры (PC), которые заменили многие виды традиционной офисной и бытовой техники. С появлением протокола передачи гипертекста HTTP (hypertext transfer protocol) и языка гипертекстовой разметки HTML (hypertext markup language) сеть Интернет стала новым средством телекоммуникаций. Персональные компьютеры были соединены между собой и могли осуществлять обмен данными. Вскоре люди поняли, что компьютер и Интернет могут заменить традиционные средства связи, которые были им известны до этого, включая радио, телевидение и даже телефон. Резкое падение цен и огромное увеличение технических возможностей PC сделали возможным для каждого иметь компьютер дома и подключать его к сети Интернет. Возможности, предоставляемые компьютером и Интернетом, были столь захватывающими, что ими был установлен новый рекорд в завоевании 50-миллионной армии пользователей — это произошло всего за четыре года. Рис. 1.3 иллюстрирует достижения на мировом рынке различных телекоммуникационных технологий, рассмотренных выше.

Кажется, что мы достигли всего, о чем не могли даже мечтать всего несколько десятилетий назад. У нас есть возможность для хорошей передачи речи и видеоизображений, когда мы находимся в офисе или в пути, а одним щелчком мыши можно получить из сети Интернет новейшую информацию. Тогда что же еще остается? Ответ очень прост, когда мы начинаем думать о прогрессе в области телекоммуникаций.

Если стала мобильной телефонная связь, то почему доступ к Интернету должен быть ограничен географически привязанным местоположением? Если Интернет

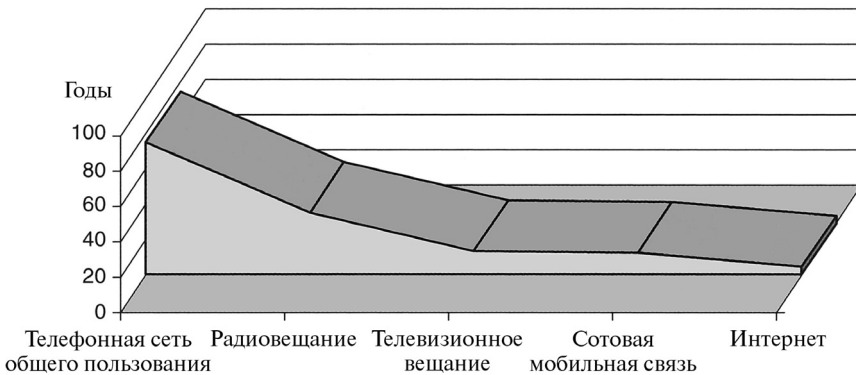


Рис. 1.3. Периоды создания рынка первых 50 миллионов пользователей для телекоммуникационных технологий

занимает такое важное место в нашей повседневной жизни, то почему бы нам не иметь возможность доступа к нему, когда мы захотим и где захотим? Поэтому мобильный Интернет является следующим шагом (и очень большим, как мы вскоре увидим) в развитии телекоммуникационной индустрии, и наша книга посвящена именно этой теме.

Обычно мобильный Интернет (mobile Internet) определяется как архитектура, в которой пользователь имеет возможность доступа к глобальной сети Интернет со всеми стандартными услугами, независимо от местонахождения относительно точки подключения к сети. Такое определение подразумевает, что понятие «мобильный Интернет» гораздо шире понятия «беспроводный Интернет». В беспроводном Интернете физическое подключение пользователя к сети осуществляется в беспроводной среде через радиочастотные каналы. Но мобильный Интернет обеспечивает доступ к сети не только через радиоканалы, но также через какую-нибудь проводную сеть, например, сеть Ethernet, и через коммутируемые соединения в любом месте. Примером беспроводного Интернета может служить беспроводная локальная сеть, в которой точкой доступа является базовая станция, обслуживающая несколько подвижных вычислительных устройств, находящихся в помещении и в пределах ограниченной географической зоны, и соединяющая их через сервер беспроводной локальной сети с проводной локальной сетью и, в конечном итоге, с глобальной сетью Интернет. Однако мобильный Интернет также может включать в себя беспроводную локальную сеть в качестве одного из своих сегментов. Пользователь сети мобильного Интернета может быть подключен к Интернету через высокоскоростное соединение сети Ethernet, а потом в любой момент переключиться на беспроводную локальную сеть с помощью соответствующей карточки доступа, а затем подключиться к сотовой сети через модем сотовой связи. В отличие от пользователя, который, переезжая, вынужден отключаться от одной сети (например, сети Ethernet) перед подключением к другой (например, к беспроводной локальной сети или к коммутируемой сети), пользователь сети мобильного Интернета может перемещаться с места на место и при этом его соединение изменяется без всяких прерываний («бесшовный переход»).

Реализация мобильного Интернета не может произойти так сразу, как это было с голосовой связью и телефонией. Существует много факторов, которые

могут затруднить такую реализацию. В случае с голосовой связью единственной проблемой (по крайней мере, в самом начале) было найти методы передачи аналоговых по своей природе сигналов, используя электромагнитные волны. При условии, что связь может быть установлена с приемлемой задержкой, а голос узнаваем, никаких нареканий со стороны абонента мобильной связи не должно быть. Короткие прерывания и искажения голосового сигнала приемлемы для человеческого уха. Пока отношение «сигнал-помеха» для принимаемого сигнала выше некоторого уровня, сигнал может быть восстановлен в приемнике. Что касается передачи данных, например, в сети Интернет, то даже очень короткое прерывание в процессе передачи может повредить весь файл данных, который, возможно, будет трудно восстановить. Поэтому необходимы дальнейшие исследования и разработки для создания надежной сети мобильного Интернета. В этой книге мы разясним требования, необходимые для реализации беспроводного и мобильного Интернета, и подробно рассмотрим текущую деятельность и прогресс в области беспроводных сотовых систем и схожих телекоммуникационных сегментов.

1.2. Тенденции на пути к беспроводному Интернету

Прежде чем ознакомиться с технологическими требованиями и мировой практикой в области развития технологии мобильного и беспроводного Интернета, в этом разделе предпринята попытка объяснить, зачем нужна такая сеть. Возникает логичный вопрос: «Каковы доказательства необходимости того, чтобы сеть мобильного Интернета стала частью глобальной телекоммуникационной инфраструктуры?». Ответить на него нужно прежде, чем искать решение проблемы технической реализации данной идеи. Подробное обсуждение, которое мы здесь приводим, является в некоторой степени продолжением вводного курса, изложенного в предыдущем разделе, но с привлечением некоторых статистических показателей.

1.2.1. Методы доступа: фиксированный и мобильный

Для того чтобы понять потребность в мобильном и беспроводном Интернете в ближайшем будущем, следует рассмотреть тенденции в области развития телекоммуникаций за последние годы, а также то, как эволюционировала данная индустрия за сравнительно короткий период времени. Первой значимой тенденцией, наметившейся в области телекоммуникационной индустрии, стал переход от фиксированного доступа к системам связи к доступу через мобильные устройства, или мобильному доступу. Нет необходимости делать экскурс в историю для того, чтобы понять возникновение данной тенденции. Как показано на рис. 1.4, с 1996 г. всемирный рост числа абонентов телефонной связи с фиксированными подводными линиями был плавным до достижения уровня приблизительно в 650 миллионов абонентов, а к 2005 г. количество абонентов срав-

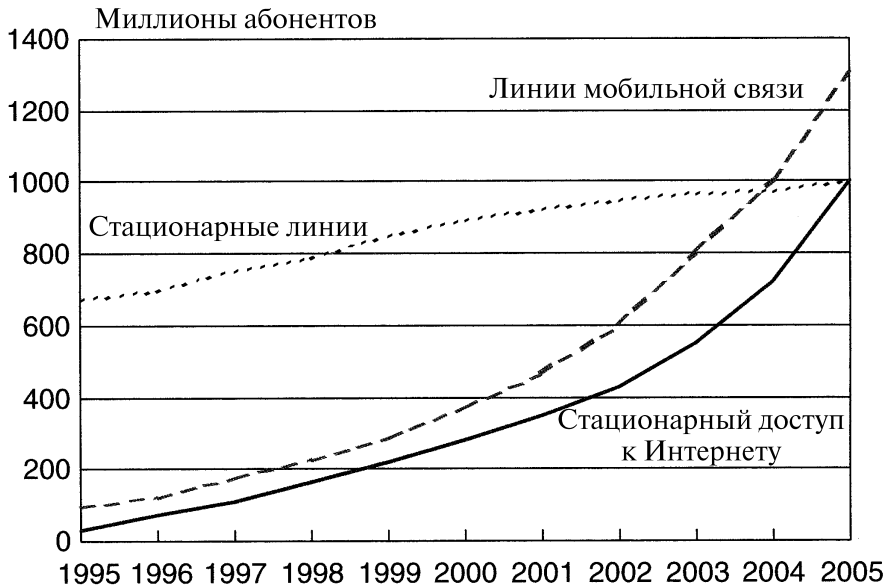


Рис. 1.4. Рост количества абонентов систем фиксированной и мобильной связи

нялось с миллиардом [21]. На графике, иллюстрирующем данный рост, видны признаки насыщения рынка или очень незначительное увеличение после 2005 г. С другой стороны, рост количества абонентов мобильной связи, показанный на этом же рисунке, является экспоненциальным без тенденций к прекращению или снижению темпов роста. Этот график демонстрирует вполне естественный и понятный феномен — люди хотят иметь одну или две фиксированных телефонных линии у себя дома для всей семьи, но предпочитают приобрести один или два мобильных телефона для каждого члена семьи, например, один из которых используется для работы, а другой в личных целях. Постоянное снижение стоимости мобильных телефонов и платы за услуги мобильной связи также способствует прогрессирующему росту числа абонентов до неизвестного предела.

Возможно, одним из факторов, сдерживающих эту тенденцию, будет ограниченность имеющегося частотного спектра для распределения его между миллиардами пользователей.

Для сравнения [21, 22] на рис. 1.4 показан также рост числа пользователей сети Интернет с фиксированным доступом. Как видно из этого рисунка, картина для Интернета схожа с картиной роста потребительского рынка сети мобильной сотовой связи. Услуги мобильного Интернета, которые будут рассматриваться в главе 2, появились одновременно с наступлением второй фазы развития сотовых сетей второго поколения, таких как служба универсальной пакетной радиопередачи — GPRS (General Packet Radio Service) [23–25], появившаяся вслед за системой GSM (Global System for Mobile communications) [26]. Если добавить количество пользователей услуг мобильного Интернета к числу пользователей сети Интернет с фиксированным доступом, то общий рост числа пользователей Интернета будет еще более резким.

1.2.2. Расширение использования сети Интернет

Хотя сеть Интернет пользуются с 1980-х годов, его применение вплоть до 1995-го года ограничивалось услугами по пересылке файлов, удаленному доступу к компьютерам и простой отправке почты в форме пересылки файлов. Интернет стал завоевывать популярность после появления языка HTML и протокола HTTP, когда начался век поиска во «всемирной паутине» (web browsing). На рис. 1.5 показаны темпы роста использования сети Интернет за последние два десятилетия. Появление системы поиска и средств просмотра web-страниц (web-браузеров) действительно произвело революцию в технологии сети Интернет и считается поистине одним из главных факторов популярности Интернета. Появление web-браузеров, таких как Netscape и Internet Explorer, и новых программ управления электронной почтой (e-mail) с возможностью просмотра позволило обычным людям, не обладающим глубокими знаниями компьютерных технологий, использовать персональные компьютеры, подсоединенные к сети Интернет, в своей повседневной жизни, что привело к стремительному росту числа пользователей Интернета. Следующим революционным фактором увеличения числа пользователей Интернета будет беспроводный Интернет, так как он обеспечит свободу доступа к глобальной сети Интернет независимо от местонахождения пользователя. В ближайшем будущем каждый мобильный телефон, холодильник, системы кондиционирования и другие устройства бытовой техники будут иметь адрес Интернет-протокола (IP-address) с возможностью подключения к сети Интернет.

Новое применение Интернета, называемое *встроенный Интернет* (embedded Internet), расширит использование сети Интернет в стационарной и мобильной областях, привлекая миллиарды новых виртуальных пользователей. Хотя

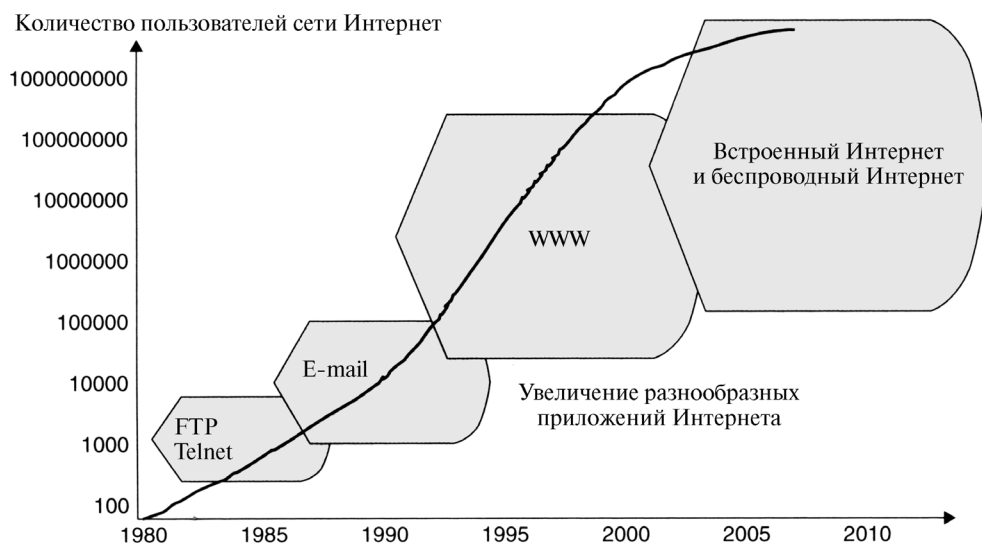


Рис 1.5. Экспоненциальный рост использования сети Интернет

Интернет начали использовать в качестве средства связи для людей, вскоре он позволит соединять между собой устройства, а также людей и устройства. Все это потребует глобальной модернизации инфраструктуры сети Интернет и его новых сегментов. Беспроводной Интернет будет играть решающую роль в обеспечении доступа для этих новых пользователей и устройств.

1.2.3. Телекоммуникационные услуги для всех

Абоненты сотовой мобильной связи довольно равномерно распределены по всему миру. Хотя эта статистика относится к телефонной связи, наиболее вероятно, то же произойдет и с мобильным Интернетом, и, следовательно, не нарушится свойство масштабируемости Интернета, когда он станет мобильным. На рис. 1.6 показано распределение абонентов мобильной связи по регионам мира с 1995 года и ожидаемые результаты к 2010 году [18]. Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР) с Китаем и другими густонаселенными странами занимает основную часть в сети глобальной мобильной связи. Считается, что использование сети Интернет будет иметь аналогичное распределение из-за количества населения в данном регионе, и ввиду этого многие международные компании полагают, что основным рынком услуг сети Интернет будет Китай. Северная Америка и страны Европейского Союза занимают последующие места на рынке услуг мобильной связи, но и другие страны Среднего Востока и Африки также показывают значительный рост использования мобильных коммуникаций. На рисунке 1.6 показан огромный потенциал рынка для беспроводного Интернета во всех частях земного шара в случае успешной реализации надежной и доступной сети.

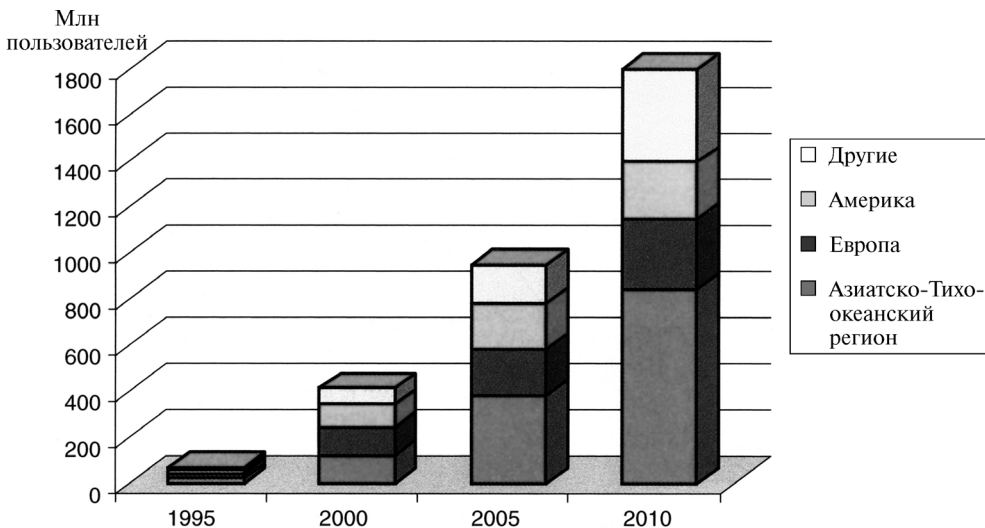


Рис. 1.6. Распределение абонентов мобильной связи по регионам мира

1.2.4. Распространение технологий сотовой мобильной связи

На рис. 1.7, показывающем мировое распределение технологий сотовой мобильной связи, можно увидеть, что основная часть приходится на технологию GSM. (Технологии сотовой связи рассматриваются в главах 3 и 4.) Передовые методы, применяемые в сети стандарта GSM, наряду с безопасностью и мобильностью, которые обеспечиваются благодаря использованию модуля идентификации абонента (SIM, subscriber identity module), характеризуют эту систему как одну из самых успешных в мире по сравнению с системами аналогичного назначения в Японии и США. Далее в этой книге мы рассмотрим названные технологии, а сейчас следует подчеркнуть потенциальную роль системы GSM в развитии технологии будущего беспроводного мобильного Интернета. Вслед за GSM появилась система GPRS, которая начала предоставлять некоторые услуги мобильного Интернета, причем в системах третьего поколения (3G) она будет использоваться в качестве базовой сети. Будущее развитие мобильного и беспроводного Интернета очень сильно зависит от успеха системы GSM и сетей, разработанных на ее основе.

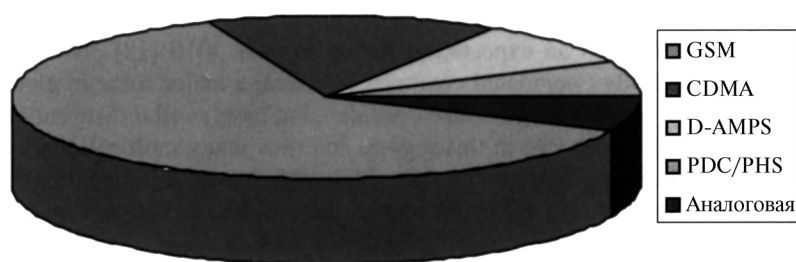


Рис. 1.7. Мировое распределение технологий сотовой мобильной связи

1.2.5. Телекоммуникационный трафик: передача речи, данных и мультимедиа

Рис. 1.8 иллюстрирует другую тенденцию в развитии телекоммуникационной индустрии, которая заключается в смещении центра тяжести от передачи речи к передаче данных. Основное влияние на появление данной тенденции оказала растущая в последние годы популярность Интернета.

С одной стороны, нагрузка речевого трафика показывает плавный и почти незаметный рост за прошедшие несколько лет. С другой стороны, новые приложения Интернета и мультимедиа, включающие в себя электронную почту (e-mail), поиск и просмотр web-страниц, Интернет-телефонию и видеоконференц-связь через Интернет, создают большую нагрузку трафика данных в телекоммуникационных сетях, возрастающую по экспоненциальному закону. В ряде развитых стран мира по объему трафик данных превзошел речевой. Во многих случаях такие технологии, как передача речи поверх IP (voice over IP), сделали возможным

посылать информацию в звуковой форме через сеть Интернет, что привело к еще более стремительному росту трафика данных и Интернет-трафика. Основная часть трафика телекоммуникационных сетей исходит от 500 миллионов пользователей сети Интернет. Когда мобильный Интернет займет свое место среди телекоммуникационных сетей, этот показатель будет расти еще быстрее. Современные системы второго поколения, такие как GSM со своей службой коротких сообщений — SMS (short message service), уже показывают огромное увеличение трафика, исходящего от мобильных устройств. Ожидается, что количество пользователей подвижных систем передачи данных, составляющее 3 миллиона, к 2005 году достигнет 77 миллионов, что соответствует ежегодному приросту 70% [21, 22, 27]. Трафик будущих сетей связи будет состоять в основном из трафика данных, поэтому потребуются новые технологии управления трафиком. Во второй части книги мы обсудим эти важные вопросы, относящиеся к реализации мобильного и беспроводного Интернета.

1.2.6. Трафик мобильного Интернета

В число приложений мобильного Интернета входят не только приложения, мобильные по своей сути, но также и приложения традиционного проводного Интернета. Это еще один фактор, способствующий расширению использования беспроводного мобильного Интернета по сравнению с предшествующим, проводным Интернетом.

Например, в список приложений беспроводного мобильного Интернета, который уже содержит в себе многочисленные приложения, пришедшие из проводного Интернета, включены услуги мобильной видео- и аудиоконференц-связи и навигационные услуги.

На основании обсуждений и статистических данных, приведенных ранее в этом разделе, становится ясно, что будущее развитие телекоммуникационных

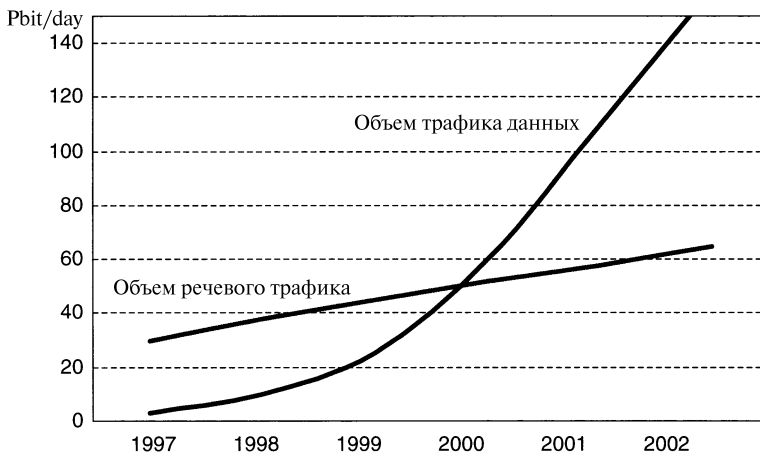


Рис 1.8. Изменение характера трафика телекоммуникационных сетей от речевого к трафику данных.

сетей очень сильно зависит от сети Интернет, так как трафик Интернета будет занимать основную часть пропускной способности сети. Обмен данными и в первую очередь Интернет будут определять будущее телекоммуникационных сетей, а мобильность, обеспечиваемая беспроводными технологиями, будет чрезвычайно востребована. Таким образом, развитие технологии мобильного Интернета должно быть объектом глубоких исследований в научных и промышленных кругах. Эти исследования не завершатся с реализацией сети мобильного Интернета, потому что в будущих сетях должно обеспечиваться качество услуг (QoS, quality of service) — и для телекоммуникационных сетей, в целом, и для мобильного Интернета, в особенности. В этой книге мы обсудим тему обеспечения качества услуг и другие важные темы.

1.3. Требования к беспроводному Интернету

Продолжая чтение книги, мы найдем в каждой главе подробное обсуждение общих требований к эффективной сети беспроводного мобильного Интернета и технических характеристик этой сети. В данном разделе мы кратко рассмотрим лишь самые основные из них. Здесь мы попытаемся ответить на вопросы: «Какой была бы идеальная беспроводная сеть Интернет, и какие аспекты должны быть учтены в ее архитектуре?»

1.3.1. Расширение сети Интернет за счет мобильности

По своему определению технология мобильного и беспроводного Интернета должна обеспечивать «бесшовный» (плавный) переход из географически стационарной области (стационарного домена) в мобильную среду. Под «бесшовным» переходом подразумевается, что пользователь, подключенный к сети Интернет, не почувствует заметных изменений при перемещении из стационарной области в мобильную. В широком смысле, то же самое будет происходить и при переключении пользователя от одного беспроводного домена к другому. Говоря техническим языком, доступ к Интернету для пользователя не должен зависеть от технологии доступа, используемой для услуг Интернета.

Поясним это определение на простом примере. Хотя современные компьютерные операционные системы (OS, operating system) и сеть Ethernet одновременно могут поддерживать только одно Интернет-соединение, представьте все же, что ваш компьютер подключен к Интернет-провайдеру (ISP, Internet service provider) с помощью платы доступа к проводной локальной вычислительной сети стандарта 100-Base-T Ethernet (скорость передачи 100 Мбит/с) [1] и платы доступа к беспроводной локальной сети стандарта IEEE 802.11b (скорость передачи 11 Мбит/с) [28-30] одновременно. Предполагается, что опорная сеть в обоих случаях одна и та же, например, локальная сеть с шинной топологией. Представьте, что ваша воображаемая (или идеальная) операционная система может выбирать между двумя подключениями в зависимости, например, от скорости, соответствующей соединению. То есть, когда вы сидите за своим столом в офисе, операционная система вашего компьютера выбирает Ethernet со ско-

ростью 100 Мбит/с и игнорирует альтернативное подключение к беспроводной локальной сети. А теперь вам нужно идти на совещание. Вы отсоединяете кабель 100-Base-T от компьютера, и его операционная система подключает вас к сети Интернет через беспроводную локальную сеть. Предположим, что вам надо совершить физическое перемещение, а в это время происходит процесс загрузки большого файла с сервера, использующего протокол FTP (file transfer protocol — протокол передачи файлов). Если процесс загрузки файла продолжается без прерывания и вы действительно не замечаете изменения скорости передачи данных при переключении между двумя соединениями, то можно сказать, что произошло «бесшовное» переключение от одной сети доступа к другой. Основным свидетельством того, что переключение было «бесшовным», конечно, является тот факт, что сеанс FTP не был прерван при вашем переключении от одного домена (проводного) к другому (беспроводному). А уж если изменение битовой скорости при загрузке файла неощутимо для органов чувств человека-пользователя Интернета, то можно считать, что процесс был еще более «бесшовным».

Пример, рассмотренный выше, должен показать разницу между системой мобильного Интернета с «бесшовным» переключением (который и является основной темой данной книги) и «кочующим» (nomadic) Интернетом. Пользователь «кочующего» Интернета в рассмотренном примере должен отключить кабель 100-Base-T, после чего вставить плату беспроводного Интернета и восстановить соединение с сетью Интернет. Если в это время происходил, например, сеанс FTP, то он был бы прерван, и его нужно было возобновить после нового подключения к сети. Все данные, которые были переданы до прерывания сетевого соединения, были бы потеряны. Поэтому разница в этих двух случаях очевидна. В этой книге мы не будем обсуждать «кочующий» Интернет. Пример, который мы рассмотрели, можно и расширить, если принять, что доступ в Интернет частично обеспечивается через системы мобильной сотовой связи.

1.3.2. Технические характеристики Интернет-соединения и качество услуг (QoS)

Пример, приведенный в предыдущем разделе, с одним компьютером и двумя вариантами доступа к Интернету должен ясно указать на необходимость некоторых изменений для реализации мобильного Интернета. Мы выделили скорость передачи, обеспечиваемую в соединении, как определяющий фактор для того, чтобы операционная система могла выбрать между двумя имеющимися вариантами подключения к сети. Несомненно, что это является решающим моментом при переходе от одного метода доступа к другому. Используя систему мобильного Интернета, пользователь не должен почувствовать заметную разницу в отношении QoS для используемого им в данный момент приложения. Наиболее заметной для человека мерой качества является скорость, используемая в соединении, то есть битовая скорость передачи данных, из чего логично вытекают требования к времени задержки. В главе 5 мы всесторонне рассмотрим параметры QoS.

1.3.3. Изменения в Интернет-протоколах

Простой пример, рассмотренный выше, показывает основные изменения, необходимые для протоколов, управляющих сетью Интернет. Изменения в протоколах должны охватить все уровни стека протоколов сети. Необходимо внести изменения на канальном уровне (Layer 2) для того, чтобы обеспечить возможность одновременного установления через различные сети доступа двух или более соединений, поддерживаемых физическим уровнем (Layer 1). Изменение протокола канального уровня должно быть учтено в операционной системе компьютера, например, для того, чтобы можно было одновременно установить и поддерживать два Интернет-соединения.

На физическом уровне мобильные устройства должны быть оснащены несколькими интерфейсами для разных сетей доступа (проводных, таких как кабельная сеть Ethernet и коммутируемая телефонная сеть, и беспроводных, таких как локальная сеть и сотовая сеть), а также для ИК-канала. Физический уровень должен включать в себя несколько интерфейсов к канальному уровню для управления наилучшим подключением к более высоким уровням, и если одно из подключений не обеспечивает необходимое качество рабочего приложения, то может применяться комбинация двух сетей доступа.

На сетевом уровне (Layer 3) IP требует основных изменений для выполнения маршрутизации и других задач сетевого уровня в проводной и беспроводной средах. Будущая технология мобильного Интернета должна обеспечивать переносимость IP-адреса. Требования сигнализации IP-протокола должны быть упрощены для повышения спектральной эффективности в будущих беспроводных сетях доступа. Вопросы IP-адресации и глобальной трансляции сетевых адресов между разнотипными сетями должны быть учтены при изменении протокола на сетевом уровне.

Транспортный уровень (Transport Layer), находящийся выше сетевого, может считаться основной областью модификаций для будущих сетей мобильного Интернета. Унаследованный от проводных сетей подход к проектированию этого уровня не обеспечивает эффективного использования пропускной способности радиоканала, поэтому требуются модификации и расширение на транспортном уровне с доминированием протокола управления передачей — TCP (transport control protocol) и протокола пользовательских дейтаграмм — UDP (user datagram protocol). В главе 9 мы рассмотрим изменения для протоколов IP и TCP.

1.3.4. Аутентификация, авторизация и учет (AAA — Authentication, authorization and accounting)

Используя технологию мобильного Интернета, пользователь, независимо от времени и местоположения, не будет замечать разницу между имеющимися сервис-провайдерами. Предполагается, что пользователю будет предоставляться доступ к Интернету независимо от точки подключения к сети и поддерживающей базовой сети и сети доступа. Поэтому должна быть разработана система аутентификации и авторизации пользователей во время их перемещения между разными сетями.

Процесс аутентификации обеспечивает подтверждение подлинности пользователя той сети, к которой он подключается. Обычно этот процесс осуществляется посредством функциональной процедуры аутентификации. Авторизация определяет, какой тип услуг может предоставляться пользователю после успешной аутентификации. Поэтому недостаточно того, что пользователь может подключиться к сети, он еще должен иметь подписку на список услуг, которые он собирается получать от сети. Учет, являющийся третьим звеном в цепочке AAA (authentication, authorization and accounting), формирует историю того, когда и какие именно услуги предоставлялись пользователю в сети.

В существующих сетях связи каждый поставщик услуг (сервис-провайдер) имеет базу данных с информацией о пользователях и их профилях для осуществления соответствующей процедуры AAA. В некоторых случаях два или более сервис-провайдера имеют совместную базу данных или доступ к базе данных своего партнера, обеспечивая некоторую мобильность пользователей в этих сетях. Однако для будущего мобильного Интернета требуется более глобальная база данных, чтобы пользователи могли легко менять сети доступа и по-прежнему получать соответствующие Интернет-услуги, которые потом должны быть оплачены. До того как мобильный Интернет будет реализован, необходимо найти пути эффективного обслуживания такой базы данных с минимальными конфликтами между разными сервис-провайдерами. Одним из проблемных вопросов является начисление оплаты и выставление пользователям счетов от соответствующих операторов за предоставленные услуги. К тому же система должна быть спроектирована таким образом, чтобы не происходило утечек личной информации неавторизованным субъектам и использования сетевых услуг пользователями, не имеющими на это права.

1.3.5. Управление ресурсами

Технология мобильного Интернета займет свое место среди других телекоммуникационных технологий, следовательно, необходимо будет разделить между ними имеющиеся ограниченные ресурсы. А значит, крайне необходимо усовершенствовать систему управления ресурсами, чтобы разделить их между всеми сосуществующими технологиями. Методы управления ресурсами, такие как управление пропускной способностью, контроль допуска, управление перегрузкой и т.д., должны обеспечить надежную работу сети, а также «справедливое» распределение ресурсов между всеми уполномоченными пользователями. Мы рассмотрим данный аспект в некоторых разделах этой книги.

1.3.6. Изменение сетевой архитектуры

Современные сетевые архитектуры, применяемые в проводном Интернете или сотовых сетях, не подходят для их эффективного использования в будущем мобильном Интернете, даже если предположить, что именно сотовые сети представят для него основную инфраструктуру. За последние годы было издано много научно-технической литературы, рассматривающей возможные изменения се-

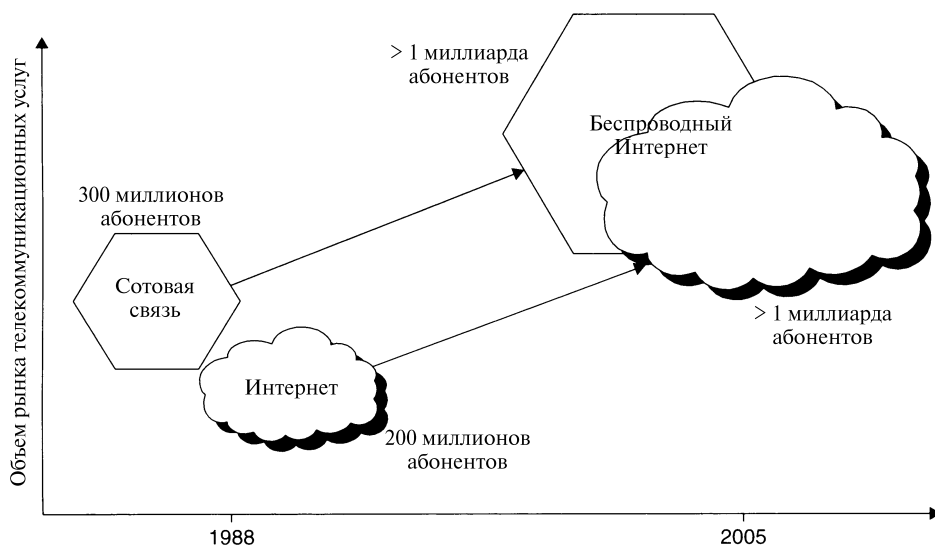


Рис. 1.9. Увеличение числа пользователей беспроводных сетей и сети Интернет

тевой архитектуры с тем, чтобы можно было применить ее для мобильного Интернета [31–37]. Основное внимание уделялось такому аспекту, как обеспечение независимости базовой сети от подразумеваемой технологии доступа. В главе 4 мы подробно обсудим этот вопрос и приведем некоторые решения проблемы, предложенные рядом исследователей и специалистов-практиков.

Ожидается, что экспоненциальный рост количества абонентов, обозначившийся как в области Интернета, так и в области сотовой связи, создаст огромный потребительский рынок для технологии мобильного Интернета, который охватит абонентов обеих систем. Предположительные результаты показаны на рис. 1.9.

К тому времени беспроводная технология станет интегрированной частью сети Интернет, а не просто еще одной технологией доступа к нему.

1.4. Общая структура книги

Эта книга рассчитана на широкий круг читателей, в число которых могут войти как студенты старших курсов и аспиранты, так и инженеры-исследователи, разработчики систем и руководители телекоммуникационной индустрии. Отдельные подборки глав этой книги можно использовать для разноплановых лекций на тему беспроводного Интернета. Первая часть, включающая главы 1–4, дает исчерпывающую информацию по определению беспроводной сети Интернет и соответствующих технологий базовой сети и сети доступа. Во второй части, состоящей из шести глав, обсуждаются основные требования и вопросы реализации беспроводного мобильного Интернета. В последней части, включающей три главы, рассматриваются несколько продвинутых тем, связанных с беспроводным Интернетом, и представлены обобщения на глобальном уровне. Поэтому, как целое книга может быть использована в качестве полного учебного пособия по технологии

беспроводного мобильного Интернета, включающего в себя анализ требований к нему и проблематику его технической реализации, тогда как отдельные части книги можно адаптировать и использовать для более специализированных курсов по данному предмету.

В последнем разделе каждой главы резюмируются основные обсуждаемые вопросы и подводятся итоги. Полный список ссылок в тексте, приведенный в конце каждой главы, дает возможность читателю обратиться к наиболее полезной литературе, опубликованной по данной тематике.

Список сокращений, использованных в тексте, приводится в конце книги и позволяет читателям определить значения многочисленных аббревиатур, применяемых в публикациях на эту тему. Для того чтобы упростить использование книги для разных целевых аудиторий, ниже приводится краткое содержание каждой главы.

В главе 1 определяются основные тенденции, существующие в области развития технологии беспроводного Интернета. Это тенденции, которые наметились в области телекоммуникаций и в сфере Интернет-приложений. Приводятся некоторые статистические данные и результаты проведенных изысканий для подтверждения того, что существует потребность в реализации технологии беспроводного Интернета. Кроме того, здесь даются общие понятия о требованиях к беспроводному Интернету.

В главе 2 начинается обсуждение практических архитектур беспроводного Интернета на основе обзора наиболее обещающих решений, первоначально разработанных для беспроводных сотовых систем второго поколения. Также рассматриваются более поздние системы: протокол беспроводных приложений (WAP, Wireless Application Protocol) и японская система i-mode. Подробные обсуждения, приведенные в этой главе, помогут сформировать архитектуры для будущего беспроводного Интернета и избежать при этом ошибок и недостатков предшествующих систем. В эту главу включена также обобщенная информация об участии основных организаций в стандартизации телекоммуникационных сетей и сети Интернет с тем, чтобы читатель имел представление, где необходимо искать информацию по беспроводному Интернету.

В главе 3 представлена всесторонняя информация о системе третьего поколения UMTS после обсуждения ее предшественников — систем GSM и GPRS. Система UMTS будет играть главную роль как базовая технология для будущего беспроводного мобильного Интернета, а, следовательно, обсуждение этой системы является очень важным для раскрытия темы этой книги.

В главе 4 завершается обсуждение систем третьего поколения (3G), начатое в главе 3. Сначала здесь рассматривается система cdma2000 и дается сравнение этой системы с UMTS. Потом следует изучение тенденций по гармонизации систем 3G, а затем приводится функциональная многоуровневая сетевая архитектура для будущего беспроводного мобильного Интернета.

С главы 5 начинается вторая часть книги. Здесь рассматриваются требования к обеспечению качества обслуживания (quality-of-service) и связанные с ними правила в телекоммуникационных системах, в частности, для сетей мобильной связи. В этой главе приведен обзор достижений в области обеспечения QoS в сотовых сетях и сети Интернет. Данную главу можно также рассматривать как самостоятельный материал на тему обеспечения QoS в телекоммуникационных сетях.

В главе 6 изучаются свойства трафика в телекоммуникационных сетях передачи данных и в будущих системах беспроводного Интернета. Приводятся математические представления для некоторых моделей трафика, используемых в различных телекоммуникационных системах.

В главе 7 обсуждаются методы управления трафиком, которые могут внести существенный вклад в решение проблемы ограниченности телекоммуникационных ресурсов. В частности, описаны методы контроля допуска, подтвержденные численными результатами.

В главе 8 освещаются характеристики мобильности в беспроводных сетях. Подробно рассматриваются схемы и модели мобильности пользователя. Задача обнаружения пользователя в сети для достижения эффективного управления сетью (обычно эта задача называется контролем местоположения) также подробно рассматривается в этой главе вместе с всесторонним обсуждением схем поискового вызова (пейджинга) в мобильных сетях.

В главе 9 главной темой является выбор соответствующего транспортного протокола для будущего беспроводного Интернета. Сначала рассматривается традиционный протокол ТСР для того, чтобы читатель получил общее представление об оценке эффективности протокола транспортного уровня. Далее следует обсуждение современных попыток внедрения транспортного протокола в среде передачи с подверженными ошибкам радиоканалами, подробно изучаются методы модификации транспортного протокола, приведены и обсуждаются некоторые численные расчеты.

В главе 10 рассматривается протокол IP, на основе которого будут разрабатываться будущие системы беспроводного Интернета. После описания существующего протокола IP и его модели следующего поколения обсуждается вопрос о том, как нужно модифицировать выделение фиксированных IP-адресов, принятое в сети Интернет, для использования в беспроводном Интернете.

Третья часть книги начинается с главы 11, в которой намечаются некоторые перспективы сети Интернет в свете будущей технологии беспроводного мобильного Интернета. В этой главе рассматриваются инициативы, связанные с базовой сетью cdma2000, по реализации беспроводного Интернета.

В главе 12 кратко, но всесторонне обсуждаются беспроводные локальные сети (wireless LANs), создание специализированных сетей мобильной связи (сетей «под задачу», или сетей ad hoc), использующих беспроводные локальные сети, а также будущие проблемы мобильных сетей ad hoc как частичной реализации беспроводного Интернета.

Обсуждение специальных тем, касающихся беспроводного Интернета, завершается в главе 13. Здесь рассматривается возможность глобализации мобильного Интернета за счет использования спутников связи. Глава начинается с всестороннего обсуждения узкополосных и широкополосных спутниковых систем связи с последующим рассмотрением возможности использования спутников связи в качестве важного сетевого элемента для будущего беспроводного мобильного Интернета на глобальном уровне для пользователей дома и на работе.

Литература

1. Stallings W, Data and Computer Communications, sixth edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 2000.
2. Comer DE, Computer Networks and Internets, second edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 1999.
3. Halsall F, Data Communications, Computer Networks and Open Systems, fourth edition, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1996.
4. Leon-Garcia A & Widjaja I, Communication Networks: Fundamental Concepts & Key Architectures, McGraw-Hill Higher Education, New York, 2000.
5. Garg VK & Wilkes JE, Wireless and Personal Communications Systems, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 1996.
6. Jamalipour A, Low Earth Orbital Satellites for Personal Communication Networks, Artech House Publishers, Norwood, Mass., 1998.
7. Digital cellular technologies, Special Issue of IEEE Transactions on Vehicular Technologies, 40 (2), 1991.
8. Abramson N, The ALOHA system — another alternative for computer communications, Proceedings 1970 Fall Joint Computer Conference, 1970, pp. 281–285.
9. Viterbi AJ, CDMA — Principles of Spread Spectrum Communications, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1995.
10. Gilhousen KS, Jacobs IM, Padovani R, Viterbi AJ, Weaver LA & Wheathley III CE, On the capacity of a cellular CDMA system, IEEE Transactions on Vehicular Technologies, 40 (2), 303–312, 1991.
11. Prasad R, CDMA for Wireless Personal Communications, Artech House Publishers, Norwood, Mass., 1996.
12. Prasad R & Ojanpera T, An overview of CDMA evolution toward wideband CDMA, IEEE Communications Surveys, 1 (1), Fourth Quarter, 1998, <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>.
13. Wilson ND, Ganesh R, Joseph K & Raychaudhuri D, Packet CDMA versus dynamic TDMA for multiple access in an integrated voice/data PCN, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 11 (6), 870–884, 1993.
14. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), Forum Web site: <http://www.umts-forum.org>.
15. The European Telecommunications Standards Institute (ETSI), Web site: <http://www.etsi.org>.
16. The Third Generation Partnership Project (3GPP), Web site: <http://www.3gpp.org>.
17. Huber JF, Weiler D & Brand H, UMTS — The mobile multimedia vision for IMT-2000: a focus on standardization, IEEE Communications Magazine, 38 (9), 129–136, 2000.
18. Chudhury P, Moher W & Onoe S, The 3GPP proposal for IMT-2000, IEEE Communications Magazine, 37 (12), 72–81, 1999.
19. The Third Generation Partnership Project 2 (3GPP2), Web site: <http://www.3gpp2.org>.
20. Larsson G, Evolving from cdmaOne to third generation systems, Ericsson Review, 2, 58–67, 2000.
21. Mohr W & Konhauser W, Access network evolution beyond third generation mobile communications, IEEE Communications Magazine, 38 (12), 122–1133, 2000.
22. Ohmori S, Yamao Y & Nakajima N, The future generations of mobile communications based on broadband access technologies, IEEE Communications Magazine, 38 (12), 134–142, 2000.
23. Cai J & Goodman DJ, General packet radio service in GSM, IEEE Communications Magazine, 35(10), 122–131, 1997.

24. Brasche G & Walke B, Concepts, services, and protocols of the new GSM phase 2+ general Packet radio service, *IEEE Communications Magazine*, 35 (10), 94–104, 1997.
25. Bettstetter C, Vogel H-J & Eberspacher J, GSM phase 2+ general packet radio service GPRS: architecture, protocols and air interface, *IEEE Communications Surveys*, Third Quarter, 2 (3) 1999, <http://www.cosmoc.org/pubs/surveys>.
26. Rahnema M, Overview of the GSM system and protocol architecture, *IEEE Communications Magazine*, 31(4), 92–100, 1993.
27. Haardt M & Mohr W, The complete solution for third-generation wireless communications: two modes on air, one winning strategy, *IEEE Communications Magazine*, 38 (12), 18–24, 2000.
28. Crow BP, Widjaja I, Kim JG & Sakai PT, IEEE 802.11 Wireless local area networks, *IEEE Communications Magazine*, 35 (9), 116–126, 1997.
29. IEEE 802.11, Web site: <http://www.ieee802.org/11>.
30. O'Hara & Petrick, 802.11 Handbook, A Designer's Companion, IEEE Press, Piscataway, N.J., 1999.
31. Mobile Wireless Internet Forum (MWIF), Web site: <http://www.mwif.org>.
32. Umehira M, Nakura M, Umeuchi M, Murayama J, Murai T & Hara H, Wireless and IP integrated system architectures for broadband mobile multimedia services, *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC '99)*, New Orleans, 1999.
33. Macker JP, Park VD & Corson MS, Mobile and wireless Internet services: putting the pieces together, *IEEE Communications Magazine*, June, 148–155, 2001.
34. Oliphant MW, The mobile phone meets the Internet, *IEEE Spectrum*, August, 20–28, 1998.
35. Noerenberg II JW, Bridging wireless protocols, *IEEE Communications Magazine*, November, 90–97, 2001.
36. MCCann PJ, Hiller T, An Internet infrastructure for cellular CDMA networks using mobile IP, *IEEE Personal Communications Magazine*, August, 6–12, 2000.
37. Ramjee R, La Porta TF, Thuel S & Varadhan K, IP-based access network architecture for next-generation wireless data networks, *IEEE Personal Communications Magazine*, August, 34–41, 2000.

ГЛАВА 2

БЕСПРОВОДНЫЕ СОТОВЫЕ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

В настоящей главе мы представим обзор ряда исследований и разработок, в основном, в области сотовых беспроводных сетей второго поколения, имеющих отношение к интересующей нас проблематике беспроводного Интернета. После разъяснений общего характера в предыдущей главе о технологии беспроводного Интернета, его характеристиках и требованиях к нему эта глава позволит читателю подготовиться к последующему обсуждению основных вопросов рассматриваемой технологии. Сетевая архитектура и технологии доступа наиболее распространенных систем сотовой связи рассматриваются в следующих двух главах, поэтому здесь эта тема затрагивается только в общих чертах. Поскольку сотовые сети второго поколения все еще далеки от идеальной структуры беспроводных сетей с Интернет-протоколом (IP), мы назвали эту главу *«Беспроводные сотовые сети передачи данных»*. Этим мы подчеркиваем, что хотя данные системы и предоставляют абонентам мобильной связи некоторые услуги по передаче данных и использованию ресурсов Интернета, они не могут заменить собой систему, которая будет предоставлять мобильным пользователям полный набор услуг сети Интернет. На разработку такой идеальной архитектуры беспроводного мобильного Интернета потребуется еще несколько лет, а в этой книге мы попробуем описать лишь небольшие фрагменты этой интеллектуальной сети.

2.1. Введение

В контексте телекоммуникационных технологий одним из важнейших является вопрос о том, какая пропускная способность канала связи и на какой период времени выделяется для одного сеанса связи, независимо от того, двухточечное это соединение («точка-точка») или многоточечное. Проблема разделения ограниченной пропускной способности систем связи решается путем использования таких методов множественного доступа, как доступ с временным разделением каналов (TDMA), с частотным разделением каналов (FDMA), с кодовым разделением каналов (CDMA) и т. д., которые в общих чертах обсуждались в главе 1.

Использование методов множественного доступа является ответом на первый заданный вопрос. Ответить на второй вопрос: «Сколько времени отводится на сеанс связи?» можно только с учетом того, отводится ли выделенный канал на весь период этого отдельного сеанса либо только на период, когда стороны, участвующие в сеансе, активно используют выделенную полосу пропускания. Тогда мы приходим к необходимости определения разных технических методов коммутации в системе связи, которые традиционно разделяются на две группы — с коммутацией каналов (circuit-switching) и с коммутацией пакетов (packet-switching). На

протяжении многих лет проводились исследования этого аспекта для проводных сетей электросвязи, однако будет полезно еще раз рассмотреть его для беспроводных сетей и, в особенности, для беспроводного Интернета. Интернет является сетью с коммутацией пакетов, поэтому доставка его контентов будет наиболее эффективной, если используется сеть такого же типа.

В этом разделе мы рассмотрим некоторые основные вопросы беспроводных сетей передачи данных, чтобы читатель мог получить общее представление о терминологии, используемой в этой книге. Мы начнем обзор с методов коммутации каналов и пакетов, а затем определим концепции сети доступа и базовой сети в беспроводных системах связи. Изложение будет предельно кратким, чтобы дать только общие понятия, необходимые для раскрытия темы данной книги. Для получения более подробной информации заинтересованный читатель может обратиться к классическим изданиям по сетям передачи данных (см. [1–3]).

2.1.1. Коммутация каналов

Вследствие требований ограничения величины задержки и ее изменений при передаче речи с самого начала для телефонных сетей была принята технология коммутации каналов. В системах с коммутацией каналов между двумя концами линии связи устанавливается выделенный канал в виде временного интервала или полосы частот до того, как начнется обмен информацией [1–3]. После установления соединения выделенный канал этой сквозной передачи (end-to-end communication) будет полностью использоваться для данного сеанса, пока кто-либо из пользователей на одной из сторон канала не инициирует фазу разрыва соединения. После завершения этой фазы выделенный канал может использоваться для другой сквозной передачи. Распределение каналов в сетях с коммутацией каналов осуществляется с помощью таких методов мультиплексирования, как временное уплотнение (TDM, time division multiplex) или частотное уплотнение (FDM, frequency division multiplex), используемых, соответственно, для разделения общей пропускной способности сети по времени или частоте. Так как на время сеанса канал выделяется двум абонентам, участвующим в сеансе, регулировки величины задержки и ее изменений после установления соединения остаются минимальными, что связано с временными ограничениями распространения сигнала и передачи. Это делает системы с коммутацией каналов идеально подходящими для приложений реального времени, например, для передачи речи. Однако даже в случае, когда информационный обмен между двумя пользователями в канале не осуществляется, пропускная способность системы, выделенная для этого канала, не может использоваться другими абонентами, следовательно, в течение этих периодов она будет просто теряться.

2.1.2. Коммутация пакетов

Системы с коммутацией пакетов были предложены в начале 1970-х годов как метод, позволяющий устранить нерациональное использование пропускной способности, характерное для систем с коммутацией каналов. Это было ответом на на-

мечавшуюся тенденцию совместной передачи нового пакетного трафика данных и обычного речевого трафика. Начали развиваться два типа систем с коммутацией пакетов: с установлением виртуального канала (VC, virtual circuit) и с передачей дейтаграмм. В системах с установлением виртуального канала в начале сеанса, аналогично системам с коммутацией каналов, между источником и приемником выбирается подходящий путь среди возможных маршрутов (то есть комбинация линий и узлов сети). После того, как выбран маршрут согласно определенной стратегии, обусловленной, например, минимальной нагрузкой в линии или минимальной стоимостью, все данные передаются по выбранному маршруту между источником и приемником, упакованные в блоки, называемые пакетами. Как и в системах с коммутацией каналов, по завершении обмена информацией любой из участников сеанса связи может инициировать фазу завершения сеанса. Так как при таком типе коммутации пакетов маршрут между источником и приемником выбирается до того, как будет произведен обмен данными, такая схема называется *виртуальным каналом*. Виртуальным, потому что нет выделенного канала между источником и приемником, как в случае с коммутацией каналов, и прохождение пакетов по выбранному маршруту должно каждый раз согласовываться с промежуточными узлами. В силу этого увеличивается задержка при передаче информации по сравнению с сетями с коммутацией каналов, а преимуществом является то, что большее количество пользователей могут использовать ограниченную пропускную способность канала, так как они занимают канал только во время его непосредственного использования, а не в течение всего времени сеанса связи.

Системы коммутации пакетов с маршрутизируемыми дейтаграммами сокращают общую задержку за счет исключения фаз установления и завершения, необходимых в системах с коммутацией пакетов с VC. Каждый пакет, посланный от узла источника, должен определить свой собственный маршрут после процесса согласования с промежуточными узлами и маршрутизаторами, пока не достигнет пункта назначения. Пакеты, составляющие одно сообщение, в системах передачи дейтаграмм могут выбирать разные маршруты и достигать пункта назначения в ином порядке, чем они были переданы. Это является еще одним отличием систем с коммутацией пакетов, которые используют дейтаграммы, от систем, использующих метод установления виртуального канала, так как в последнем случае все пакеты одного сообщения используют один маршрут и достигают приемника в том же порядке, в каком они были посланы источником. Технология коммутации пакетов с использованием дейтаграмм нашла широкое применение в Интернете.

Традиционно в телефонной связи предпочтение отдается системам с коммутацией каналов, так как они оптимальны для передачи в масштабе реального времени такой информации, как речь, и другие системы в этом отношении не могут с ними конкурировать. С другой стороны, технология коммутации пакетов решала задачи высокоскоростной передачи данных, поэтому в ней не учитывались вопросы передачи речи. Исходная идея коммутации пакетов нашла применение в таких передовых технологиях, как ретрансляция кадров (frame relay) и асинхронный режим переноса (ATM, asynchronous transfer mode), применяемых для высокоскоростной передачи данных. Стандартные сети с коммутацией пакетов передают данные на скорости 64-кбит/с, применение технологии ретрансляции кадров позволило увеличить скорость до нескольких Мбит/с, а технология ATM повысила ее до нескольких сот Мбит/с. В технологии ATM, например, применя-

ется коммутация виртуальных каналов (VC switching). Дискуссии по поводу технологий ретрансляции кадров и АТМ выходят за рамки обсуждаемой нами темы, поэтому читатели могут найти подробную информацию о данных технологиях в классических изданиях [1—3].

2.1.3. Сети доступа

В беспроводных системах связи, например, в беспроводной сети с сотовой структурой, сеть можно разделить на две основные части: сеть доступа и базовую сеть. Сеть доступа, или, в контексте беспроводных систем, сеть радиодоступа обеспечивает связь конечного пользователя (который называется по-разному: подвижная станция, MS (mobile station), мобильный терминал, MT (mobile terminal) или абонентское оборудование, UE (user equipment)) с первым обслуживающим элементом сети через радиочастотные (РЧ) каналы. Первый обслуживающий элемент в беспроводных системах также называется по-разному (об этом подробнее — в следующих главах): базовая станция, точка доступа, узел В (node В) и т.д. В сетях доступа применяются протоколы радиосвязи и радиоинтерфейсы, которые обычно отличают одну беспроводную систему от другой.

В ранних беспроводных сетях сеть доступа пытались разрабатывать совместно с базовой сетью подобно системе, проектируемой как единая инфраструктура, но в современных технологиях и стандартах предпринимается попытка сделать функции базовой сети независимыми от сети доступа и технологий, применяемых в ней. Примером одной из таких систем может служить Универсальная система мобильной связи — UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) (рассматриваемая в главе 3), где определения слоя доступа и слоя, не относящегося к доступу, логически разделяют эти два типа. Слой доступа представляет собой набор протоколов и возможностей базовой сети, наиболее тесно связанных с технологией радиодоступа. С другой стороны, слой, не относящийся к радиодоступу, определяет протоколы, которые не зависят от сети радиодоступа.

Схемы множественного доступа, методы модуляции, алгоритмы кодирования источника и канала, методы обнаружения и исправления ошибок в радиоканалах, а также схожие вопросы относятся к сети доступа. В связи с этим сеть доступа играет важную роль в процессе сквозной передачи данных в беспроводных сетях. Например, правильный выбор методов модуляции для рассматриваемой беспроводной сети может определить максимальную битовую скорость передачи данных, допустимую в этой сети.

2.1.4. Базовая сеть

Базовая сеть представляет собой другую часть беспроводной системы, которая устанавливает связь между различными сегментами сети доступа. Например, в системах с сотовой структурой мобильные станции (MS) соединяются с ближайшими к ним базовыми станциями, эти базовые станции соединяются друг с другом и другими элементами сети, такими как центры коммутации подвижной связи MSC (mobile switching centers) и серверы баз данных с применением методов

сигнализации и маршрутизации, предусмотренных в базовой сети. Рассматривая базовые сети, необходимо сравнить системы с коммутацией пакетов и с коммутацией каналов.

В современных беспроводных системах сеть доступа и базовая сеть соединяются друг с другом через набор стандартных интерфейсов. Также для беспроводной системы существует возможность полной модернизации сети доступа и лишь небольшой модификации базовой сети, чтобы затем можно было объявить ее новой системой. Например, в беспроводной системе третьего поколения UMTS, преемнице системы GSM, используется совершенно новая технология доступа в ее сети доступа, а в качестве базовой сети применяется модифицированная версия базовой сети GSM.

Если в сети доступа поддерживаются протоколы контроля радиолинии и осуществляется управление ресурсами, то базовая сеть должна поддерживать такие функции, как сигнализация и контроль, маршрутизация, управление трафиком и мобильностью, хранение баз данных подвижных станций, а также обмен информацией о пользователе при его переходе от одной соты к другой (передаче обслуживания).

Некоторые задачи решаются в обеих сетях; например, при перемещении пользователя от одной соты к другой протоколы канального уровня в сети доступа должны поддерживать мобильность абонента, а в базовой сети должна передаваться сигнализация между базовыми станциями, необходимая для процедур передачи обслуживания. Другим примером, когда задачи решаются в обеих сетях беспроводной системы, может служить авторизация подвижной станции MS для ее допуска к беспроводной системе и пользованию установленными услугами.

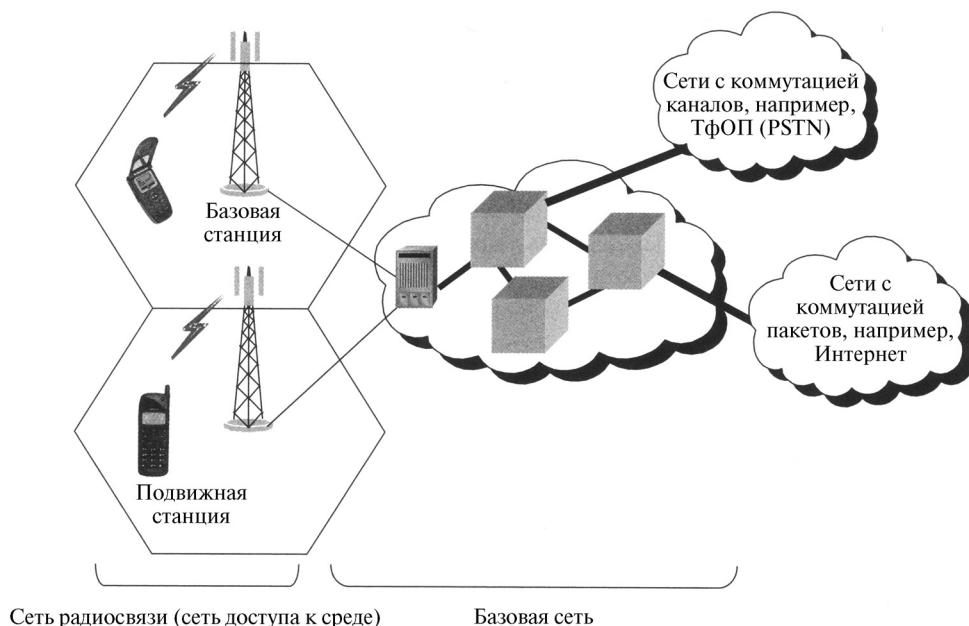


Рис. 2.1. Сеть радиодоступа и базовая сеть в беспроводных системах

В этой книге мы уделим больше внимания протоколам базовой сети, но во многих случаях мы также будем рассматривать технологии доступа, сети радиодоступа и соответствующие им стандарты. Это не должно привести к неправильному пониманию основной темы книги, охватывающей требования и методы реализации беспроводного мобильного Интернета, так как мы будем рассматривать только ту часть сети, где решаются определенные интересующие нас задачи. На рис. 2.1 мы попытались проиллюстрировать в общей форме, где проходит граница между сетью доступа и базовой сетью, хотя четкое разграничение несколько различается для разных систем.

2.2. Службы передачи данных в сотовых системах второго поколения (2G)

Использование технологии коммутации каналов в базовых сетях характерно не только для коммутируемых телефонных сетей общего пользования, ТфОП (PSTN, Public Switching Telephony Network), но и для систем сотовой связи второго поколения (2G), спроектированных, в основном, для передачи речи. Поэтому для передачи пакетов данных в сети мобильной связи, с чего можно было начать предоставление услуг мобильного Интернета, требовалось внедрение других методов. Один из простых методов заключается в инкапсуляции пакетов данных или IP-пакетов и отправке их по каналу, используемому для передачи речи. В данном разделе мы рассмотрим две наиболее успешные системы, применяемые для передачи данных по сетям мобильной связи с сотовой структурой, а именно: систему сотовой цифровой пакетной передачи данных, CDPD (Cellular Digital Packet Data), и систему высокоскоростной передачи данных с коммутацией каналов, HSCSD (High Speed Circuit-Switched Data). Эти две системы считаются первыми проектами, направленными на предоставление услуги мобильного Интернета в сотовых сетях. Они были разработаны в качестве дополнительных служб для систем второго поколения и все еще используются многими абонентами в ряде регионов мира, несмотря на появление в базовых сетях 2G новых технологий с концепциями коммутации пакетов.

2.2.1. Пакетная цифровая передача данных по сотовой сети (CDPD)

Несмотря на то, что технология CDPD считается довольно устаревшей, она все еще находит некоторое распространение для передачи данных по сетям сотовой связи. Сеть CDPD является одноранговой многопротокольной сетью без установления соединения, предложенной организацией CDPD Forum, торгово-промышленной ассоциацией компаний-поставщиков телекоммуникационных услуг, поставщиков оборудования и разработчиков приложений [4–8]. Технология CDPD была разработана с целью расширения существовавших в то время проводных сетей передачи данных.

Первым толчком к развитию технологии CDPD послужила идея возможности распределения неиспользуемых каналов в системе сотовой связи США, называемой *Усовершенствованной системой мобильной телефонной связи*, AMPS (Advanced Mobile Phone System) [6], для передачи данных со скоростью 19,2 кбит/с. В частности, данная технология делает возможным обмен пакетами между подвижными и подвижными, подвижными и стационарными, стационарными и подвижными, стационарными и стационарными пользователями. Позже эта концепция была использована в сотовых системах персональной подвижной связи, PCS (Personal Communication Service).

На рис. 2.2 показана основная архитектура сети CDPD, в описании которой мы придерживались терминологии модели взаимодействия открытых систем OSI (open system interconnection): мобильный узел называется мобильной оконечной системой, M-ES (mobile end system); собственный и внешний агенты называются, соответственно, собственной функцией мобильных систем, MHF (mobile home

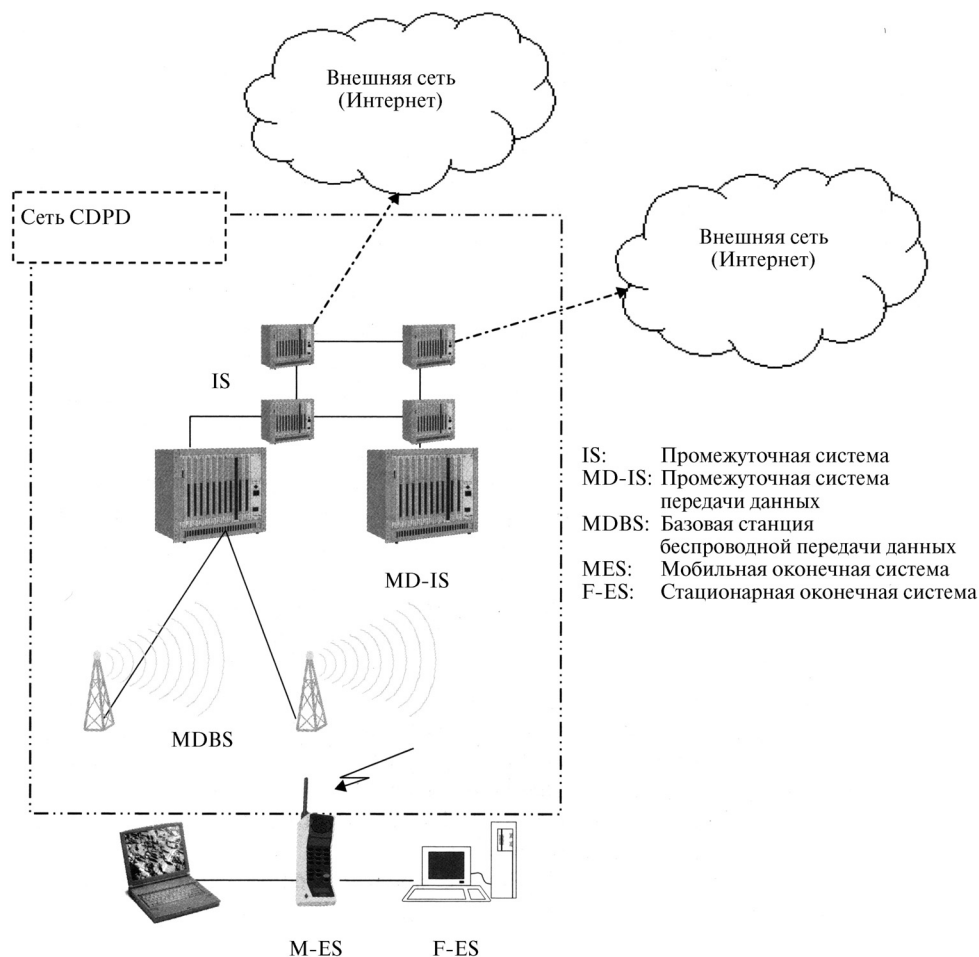


Рис. 2.2. Архитектура сети CDPD

function), и обслуживающей функцией мобильных систем, MSF (mobile serving function), и располагаются в промежуточной системе беспроводной передачи данных, MD-IS (mobile data intermediate system). В системе CDPD базовая станция беспроводной передачи данных, MDBS (mobile data base station), работает через радиointерфейс, выступая в роли ретранслятора канального уровня между M-ES и обслуживающей MD-IS. Два протокола, а именно: протокол регистрации мобильного узла, MNRP (mobile node registration protocol), и протокол местоположения мобильного узла, MNLP (mobile node location protocol), отвечают за регистрацию M-ES в собственной MD-IS, а также за правильную маршрутизацию пакетов, предназначенных для M-ES.

При структурном сходстве с мобильным Интернет-протоколом (Mobile IP) в его первых версиях [9, 10] (для подробной информации о протоколе Mobile IP см. главу 10) функции мобильности CDPD в значительной степени реализуются в системах MD-IS. Каждому терминалу M-ES назначается фиксированная собственная (домашняя) зона. В основном, если MD-IS собственной зоны использует функцию MHF для поддержки базы данных текущей зоны обслуживания для каждой абонентской системы M-ES, то функции MSF, используемые во всех других сетях, маршрутизируют пакеты данных для всех M-ES, которые в данный момент соединены с базовой станцией соответствующей им зоны обслуживания. В собственной зоне MD-IS инкапсулирует пакеты, адресуемые любой M-ES, и направляет их к той MD-IS, где в данный момент находится абонент мобильной связи. Туннель мобильности основывается на сетевом протоколе без установления соединения, CLNP (connectionless network protocol).

Сеть CDPD связывается с другими сетями через три интерфейса: интерфейс радиолинии, внешний интерфейс и интерфейс между сервис-провайдерами (interservice-provider interface).

Интерфейс радиолинии соединяет абонентские M-ES с сетью для передачи данных мобильных пользователей, следовательно, это интерфейс между M-ES и MDBS. Внешний интерфейс соединяет сервис-провайдера данной сети CDPD с внешними сетями, чтобы абоненты CDPD могли пользоваться услугами разных провайдеров и работать с Интернет-приложениями. Это интерфейс между промежуточной системой и стационарной оконечной системой. Интерфейс между сервис-провайдерами — это интерфейс одного сервис-провайдера CDPD для возможности взаимодействия с сетями сервис-провайдеров в этой же сети CDPD, то есть он является интерфейсом между двумя промежуточными системами.

В системе CDPD и протоколе Mobile IP требуется наличие мобильных хостов для связи с другими системами, не поддерживающими функции мобильности. Изменять или усовершенствовать такие системы без функции мобильности, чтобы осуществлять связь с мобильными хостами, нет никакой необходимости. В системе CDPD, помимо радиолинии CDPD, не было никаких внешних требований для поддержки передачи данных по другим линиям. С самого начала разработчики системы CDPD осознали, что мобильность CDPD могла бы не зависеть от радиолинии CDPD. Поэтому система CDPD и была спроектирована с учетом самоналагаемого требования мобильности CDPD вне зависимости от радиолинии.

В системе CDPD радиолиния считается дорогостоящим ресурсом, и количество байтов, передаваемых в эфир, сводится к минимуму. Компромиссный выбор

между межуровневой целостностью и эффективностью использования радиолинии был сделан в пользу последней. Если Mobile IP был чисто IP-решением, то система CDPD была создана не только для поддержки IP, но также и для решения проблемы многопротокольной мобильности. И система CDPD, и протокол Mobile IP требуют, чтобы мобильность поддерживалась без необходимости изменения IP-адреса мобильной системы, что является отходом от традиционных проводных IP-сетей.

Система CDPD предполагает, что сетевое централизованное администрирование, обслуживание и управление осуществляется поставщиками услуг сотовой связи, сотрудничающими между собой. Она также предполагает четко определенную сеть с разграничением полномочий и ответственности. Межсетевое взаимодействие системы CDPD представляет совокупность сетей сервис-провайдеров CDPD. На основе двусторонних соглашений каждая собственная MD-IS взаимодействует с различными обслуживающими системами MD-IS, администрирование которых может осуществляться разными сервис-провайдерами CDPD. Инфраструктура CDPD является закрытой сетью, что подразумевает доверие, порядок и ответственность.

Эти эксплуатационные положения оказали прямое влияние на многие решения при разработке протоколов CDPD, в частности, на решения по обеспечению безопасности, управляемости и расширяемости системы. Так как туннель мобильности начинается и заканчивается внутри сетей CDPD, то здесь не требуется тот же уровень безопасности, который необходим при взаимодействии собственного агента и внешнего агента в Mobile IP.

Хотя по спецификациям системы в сетях CDPD не требуется обеспечение безопасности на сетевом уровне, разработчики CDPD учли важность конфиденциальности данных и аутентификации в мобильном туннеле. Протокол безопасности сетевого уровня NLSP (network layer security protocol), который считается дополнением протокола CLNP, предоставляет полные услуги по обеспечению защиты. Подробную информацию о различных протоколах, используемых в сетях CDPD, можно найти в работе [6].

Одна отличительная черта делает систему CDPD менее пригодной по сравнению с другими протоколами. Дело в том, что для нее возможность соединения поддерживается только в том случае, если пользователь остается в пределах сетей сервис-провайдеров CDPD. Более того, если абоненты перемещаются в географическую зону, которая обслуживается сервис-провайдером другой сети CDPD, необходима организация межсетевого взаимодействия для передачи данных.

Система CDPD с ее концепцией надстройки над инфраструктурой выбранной сотовой сети и использования свободной пропускной способности этой сети считалась хорошим краткосрочным решением для реализации IP-мобильности и передачи данных. Однако факторы всестороннего совершенствования в области телекоммуникаций и беспроводных технологий, наряду с экспоненциальным ростом трафика данных в беспроводных сетях и требованиями мобильности, не позволили этой сети, не имеющей отдельной инфраструктуры, стать полным и долгосрочным решением проблемы реализации беспроводного Интернета.

2.2.2. Система высокоскоростной передачи данных по коммутируемым каналам (HSCSD)

Система HSCSD предназначена для передачи данных с использованием сотовой сети с коммутацией каналов GSM фазы 2+ (Phase 2+). Система HSCSD позволила абонентам GSM передавать данные с более высокой скоростью (до восьмикратного повышения), чем обычные 9,6 кбит/с для системы GSM, путем организации доступа более чем к одному временному интервалу (слоту) в кадре TDMA. Позже в системе пакетной радиосвязи общего назначения GPRS [12–14] (которая будет обсуждаться в главе 3), являющейся промежуточной версией второго и третьего поколения (2.5G) и преемницей GSM [11], применялся уже другой метод, представлявший собой пакетную передачу с установлением соединения в радиointерфейсе и в базовой сети для обеспечения высокой скорости передачи данных MS, но с использованием только одного канала.

Система HSCSD использует несколько каналов системы GSM для передачи данных с полной скоростью — TCH/F (full rate traffic channel) — одновременно для одного соединения для того, чтобы общая физическая линия могла поддерживать в радиointерфейсе разные скорости передачи данных [15–17]. Мультиплексирование и демultipлексирование данных пользователя в нескольких TCH осуществляются в системе HSCSD на более высоких уровнях MS и сети. Упрощенная архитектура системы HSCSD показана на рис. 2.3. Видно, что на интерфейсах между подвижной станцией MS и базовой приемо-передающей станцией BTS (base transceiver station) и между BTS и контроллером базовой станции BSC (base station controller) выделяется по многу каналов, например, временных слотов TDMA, тогда как между BSC и MSC используется один канал. Архитектура сети GSM, показанная на рисунке, будет обсуждаться в главе 3.

При вызове MS начинается процесс установления соединения HSCSD. Данное соединение может поддерживать симметричные или асимметричные передачи. При симметричной передаче используется одинаковое количество передач в восходящем и нисходящем каналах, тогда как для асимметричной передачи в одном направлении можно использовать больше временных слотов (то есть каналов)

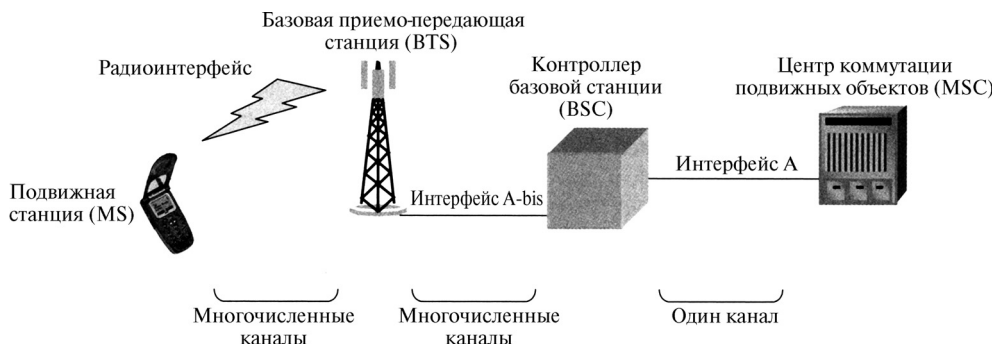


Рис. 2.3. Система высокоскоростной передачи данных по коммутируемым каналам через сеть GSM

TCH), чем в другом. Однако в системе HSCSD допускается использование только нисходящемсещенной асимметрии, где восходящие временные слоты должны быть подмножеством нисходящих. Это означает, что если запрашиваемая станцией MS скорость передачи не может быть удовлетворена симметричной передачей, то радиointерфейс должен предоставить возможность асимметричной передачи, отдавая приоритет выполнению требований по скорости нисходящей передачи данных пользователя.

Соединение пользователя в системе HSCSD может повторно согласовываться после его установления с целью увеличения или снижения скорости передачи данных, а также для изменения симметричной или асимметричной конфигурации передачи данных. Множество слотов, предназначенных для одного соединения HSCSD, могут быть распределены в кадре TDMA, либо непосредственно друг за другом, либо вразбивку.

Интересной технической особенностью системы HSCSD является то, что нет необходимости менять конфигурацию радиointерфейса или сети доступа. Например, имеющийся радиointерфейс системы GSM мог бы использоваться для поддержки более высоких скоростей передачи пакетного трафика (подобного трафику Интернет-сеансов) путем предоставления нескольких временных слотов TDMA одному пользователю.

В последних версиях системы HSCSD, где радиointерфейс был усовершенствован с применением более эффективных методов модуляции, таких как 8-PSK (eight-level phase shift keying — восьмиуровневая фазовая манипуляция) в дополнение к гауссовской манипуляции с минимальным сдвигом GMSK (Gaussian minimum shift keying), модуляции, используемой в GSM, каждый отдельный канал мог бы поддерживать скорость передачи данных выше 9,6 кбит/с, тем самым позволяя использовать меньшее количество слотов для соединения HSCSD. Эта новая система получила название *Усовершенствованная система передачи данных по коммутируемым каналам* — ECSD (Enhanced Circuit-Switched Data). Комбинация использования двух методов модуляции: GMSK для каналов плохого качества и 8-PSK для каналов хорошего качества привела к появлению передовой технологии радиointерфейса для сотовых систем, известной как EDGE (enhanced data rates for GSM evolution — перспективная технология для развития стандарта GSM) [18–21].

Еще некоторое время система HSCSD останется частью стандартов для передачи данных по сотовой сети с коммутацией каналов, так как ее соответствующие технические спецификации — TS (technical specifications) — вошли в стандарты третьего поколения. Однако остается открытым вопрос целесообразности передачи пакетноориентированного трафика в сети с коммутацией каналов, спроектированной для передачи трафика в реальном масштабе времени и с постоянной скоростью, независимо от того, насколько будет увеличиваться битовая скорость передачи данных в этих сетях.

2.3. Последние усовершенствования сотовых сетей для передачи данных

В предыдущем разделе мы ознакомились с двумя беспроводными системами для передачи данных, разработанными на основе сотовых сетей второго поколения. Их первоначальная концепция заключалась в том, чтобы попытаться предоставить абонентам мобильной связи дополнительные услуги по передаче данных и доступ к услугам сети Интернет, не затрагивая при этом структуру физического уровня сотовой сети. В этом разделе мы рассмотрим три более совершенные системы, которые можно считать первыми предвестниками будущей архитектуры действительно мобильного Интернета. Помимо значимости технологического развития, достигнутого в этих системах, их успех будет важным фактором для реализации будущей технологии беспроводного мобильного Интернета.

2.3.1. Протокол приложений для беспроводной связи (WAP)

Несмотря на то, что появление двух технологий беспроводной передачи данных, рассмотренных в разделе 2.2, было хорошим началом для реализации услуг Интернета в сотовых сетях, они имели один существенный недостаток — приемлемость только для одного локализованного стандарта второго поколения. Система CDPD была реализована в сетях американского стандарта AMPS, где она использовала свободные каналы сети для передачи пакетных данных. Система HSCSD была реализована в системах типа GSM, позволяя абонентам использовать несколько каналов TDMA для одного соединения HSCSD, результатом чего стало увеличение скорости передачи данных по сравнению с технологиями, в которых использовался только один канал. Такая зависимость этих систем, характерная для всех разработок сетей второго поколения, больше неприемлема, так как у пользователей мобильной связи растет потребность в межсетевом роуминге. Поэтому такого рода новации не подойдут для беспроводных сетей будущего.

В ответ на новое требование иметь беспроводную сеть с услугами Интернета, работающую независимо от технологии доступа к ней, несколько компаний индустрии беспроводной связи, включая Ericsson, Motorola, Nokia и Phone.com, в 1997 г. образовали консорциум, названный *Wireless Application Protocol (WAP) Forum* [22]. Задачей консорциума WAP Forum было найти универсальный и открытый стандарт для предоставления пользователям беспроводного доступа в Интернет. В первую очередь этот протокол должен был быть универсальным, то есть не ограничиваться одной технологией радиоинтерфейса, как в системах GSM или CDMA. Он также должен был быть открытым, чтобы независимые сервис-провайдеры имели доступ к информации о сетевой архитектуре WAP во всех ее деталях и могли разрабатывать собственные WAP-совместимые услуги.

Технология WAP в основном разработана так, чтобы быть совместимой со всеми технологиями сетей беспроводной связи, начиная с систем второго поколения, таких как GSM, CDMA IS-95 [23–25] и D-AMPS (Digital AMPS — циф-

ровая версия аналогового стандарта AMPS); технологий беспроводной ближней связи, как Bluetooth [26]; заканчивая системами третьего поколения, такими как UMTS [27–31] и cdma2000 [32–34]. Как было заявлено, архитектура WAP также должна была базироваться на существующих стандартах и протоколах Интернета, таких как IP и протокол передачи гипертекста HTTP (hypertext transfer protocol), а также на языках программирования, таких как язык гипертекстовой разметки HTML (hypertext markup language) и XML (расширяемый язык разметки). Таким образом, WAP должен был быть протоколом, обеспечивающим дружелюбность беспроводного Интернета как к сети Интернет, так и к сетям сотовой связи.

Важно, что разработчики WAP понимали ограничения, накладываемые как технологиями беспроводной связи, так и мобильными устройствами. При разработке WAP эти ограничения и недостатки беспроводной связи, а также предельные возможности мобильных устройств были учтены. Некоторые ограничения мобильных устройств следующие: ограниченная производительность микропроцессоров мобильных телефонов, объем памяти и время работы от батарей мобильных устройств, а также ограниченная и низкая разрешающая способность дисплеев мобильных телефонов. С другой стороны, беспроводные каналы характеризуются низкой пропускной способностью, большим временем ожидания (high latency), низким отношением сигнал/шум при плохих условиях в канале и, вследствие этого, высоким коэффициентом ошибок на бит BER (bit-error rate). Также в беспроводных сетях неизбежна проблема зон отсутствия приема, где радиосигнал слишком слаб. По этой причине протоколы более высокого уровня в стеке сетевых протоколов должны компенсировать влияние этих негативных факторов, используя механизмы коррекции ошибок и повторной передачи. Также протокол WAP должен был проектироваться с учетом легкости просмотра информации по сравнению с программами просмотра настольных компьютеров. В настоящее время рынок насыщен малогабаритными вычислительными устройствами и сотовыми телефонами, внутри которых помещается память большого объема и более быстрые микропроцессоры по сравнению с прежними моделями, однако в отношении электропитания прогресс менее разителен, и период работы от батарей все еще слишком короткий. Высокая скорость микропроцессоров предполагает потребление большей мощности, что еще больше сокращает время работы от батарей. От беспроводного IP требуется сокращение объема вычислительной обработки, чтобы решить эту проблему мобильных устройств.

Стек протоколов WAP показан на рис. 2.4. Данный стек протоколов подобен тому, что представлен в эталонной модели протоколов TCP/IP (transmission control protocol/Internet Protocol — протокол управления передачей/Интернет-протокол), которая рассматривается во всех классических изданиях на тему технологий сетей передачи данных (например, см. работы [1–3]). На физическом и канальном уровнях могут быть реализованы стандартные протоколы, связанные с какой-либо из технологий беспроводного доступа: GSM, D-AMPS, CDMA IS-95, третьего поколения (3G), Bluetooth и DECT. За канальным уровнем следует беспроводный протокол дейтаграмм, схожий с традиционным интернетовским протоколом IP-дейтаграмм, но только с расширенными беспроводными функциями. Протокол WAP, как следует из его названия, в основном реализуется на более высоких сетевых уровнях, в частности, на прикладном уровне, расположенном выше протоколов транспортного уровня.



Рис. 2.4. Стек протоколов для WAP

В результате функциональные возможности протокола WAP распределяются по нескольким уровням, включая протокол беспроводной безопасности транспортного уровня WTLS (wireless transport layer security), протокол беспроводных транзакций WTP (wireless transaction protocol), беспроводной сеансовый протокол WSP (wireless session protocol), протокол среды беспроводных приложений WAE (wireless application environment), язык (гипертекстовой) разметки для WAP (WML, wireless markup language) и WML Script. Разбивка стека протоколов на меньшие подуровни делает протокол WAP более схожим с сетевой эталонной моделью OSI (open systems interconnection — взаимодействие открытых систем) организации ISO, чем с сетевой эталонной моделью TCP/IP.

Имея такой (двухмерный) стек сетевых протоколов, WAP обеспечивает пользователям мобильной связи доступ к двум типам протоколов IP, один из которых разработан для настольной платформы (например, HTML), а другой — для мобильного устройства, такого как сотовый телефон с возможностями WAP или карманный терминал пилотной серии (palm pilot terminal) с модемом сотовой связи и дисплеем небольшого размера (например, WML). Контенты сети Интернет могут храниться или на обычном web-сервере HTML, или на web-сервере, совместимом с WML. Мобильные устройства, совместимые с WAP, должны иметь способ извлекать web-контенты с сервера HTML, используя соответствующие протоколы, предоставляемые WAP.

В соответствии с вышеупомянутыми требованиями к сервису WAP инфраструктура WAP может выглядеть, как показано на рис. 2.5. Мобильное устройство, совместимое с WAP, используя любую из принятых технологий доступа, подключается к беспроводной сотовой сети после начала сеанса WAP. Сервер-посредник WAP (WAP proxy server) находится посередине пути между магистральной сетью сотовой системы и сетью Интернет. Далее возможны два варианта: прямой доступ и доступ с переводом (между языками). В первом варианте мобильное устройство ищет контент сети Интернет, размещенный на WAP-совместимом сервере,