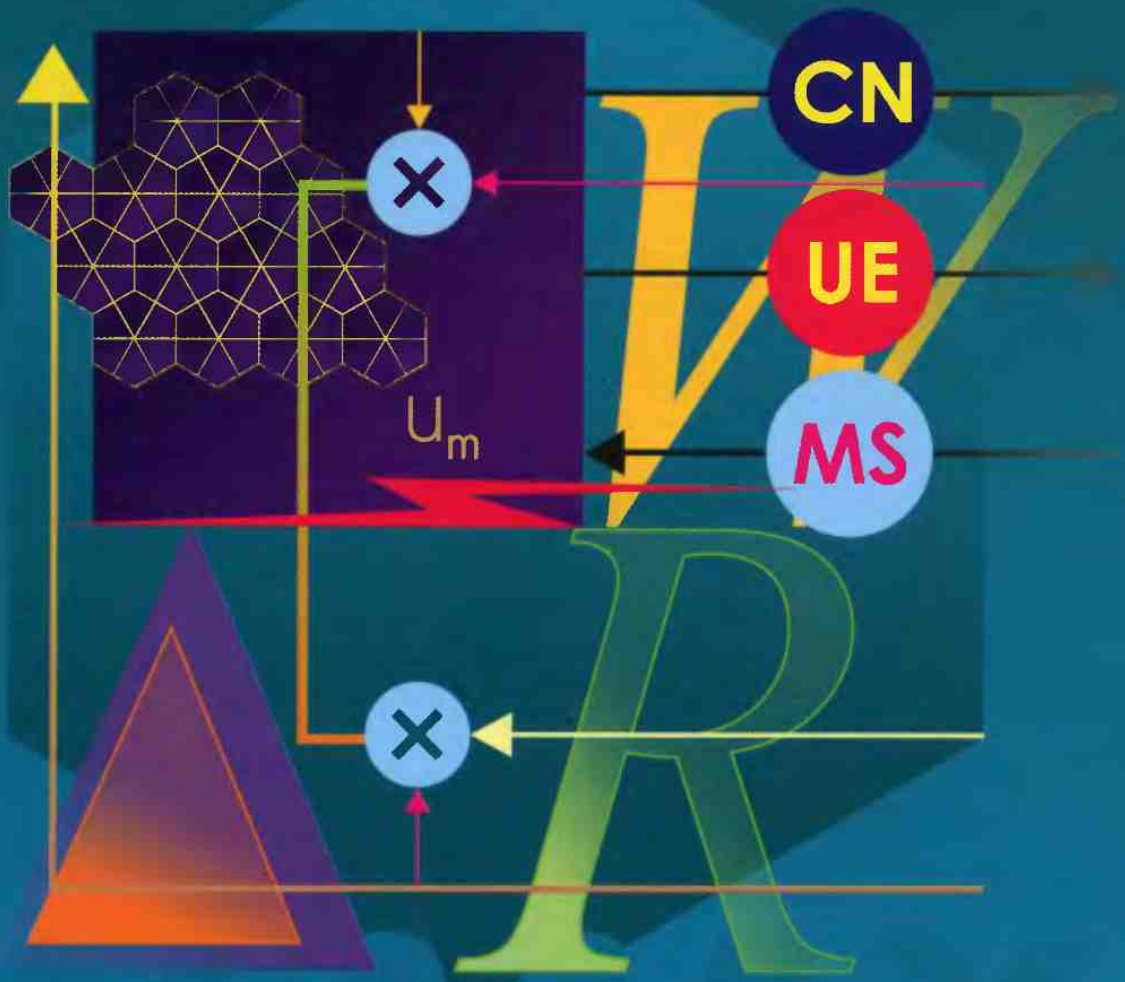
А.Н. Берлин

ЦИФРОВЫЕ СОТОВЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ



ЭКОТРЕНДЗ

ИНЖЕНЕРНАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ
ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОММУНИКАЦИЙ

А.Н. Берлин

Цифровые сотовые системы связи

SCAN BY x40

ЭКОТРЕНДЗ
Москва, 2007

УДК 621.396.931(024)
ББК 32.884.1
Б.49

А.Н. Берлин

Б.49 Цифровые сотовые системы связи. — М.: Эко-Трендз, 2007. — 296 с.: ил.

ISBN 978-5-88405-087-7

Изложены основы, принципы построения и функционирования цифровых сотовых систем второго (стандарты GSM, системы мобильной связи на основе технологии CDMA), третьего (система UMTS) поколений и системы «мобильный WiMAX» (стандарт IEEE 802.16e). Рассмотрена архитектура этих систем, протоколы и основные алгоритмы работы (регистрация, хэндовер, аутентификация и др.).

Особое внимание уделено системам и методам доступа: многостанционному с кодовым разделением (CDMA), ортогональному с частотным разделением (OFDMA), новой системе наземного радиодоступа UTRAN. Для каждой из технологий детально рассмотрены принципы кодирования, протоколы сигнализации, процесс хэндовера и его разновидности, характеристики систем, а также новые технические решения. Прослеживается эволюция систем при переходе к новым поколениям. Рассмотрение основных направлений технической реализации систем мобильной связи позволяет оценить принимаемые в настоящее время решения по внедрению новых систем и технологий в этой области.

Для специалистов в области мобильных систем радиосвязи, студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

ISBN 978-5-88405-087-7 **ББК 32.884.1**

© А.Н. Берлин, 2007

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ **7**

Глава 1. СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ. СТАНДАРТ GSM **10**

1.1. История GSM 10

1.2. Услуги, обеспечиваемые системой GSM 11

1.3. Архитектура сети GSM 13

1.3.1. Мобильная станция 15

1.3.2. Подсистема базовых станций 15

1.3.3. Коммутационная подсистема сети 16

1.4. Основные принципы организации сети GSM 24

1.4.1. Внутренние интерфейсы GSM 24

1.4.2. Интерфейсы с внешними сетями 26

1.4.3. Географические зоны сети GSM 26

1.4.4. Повторное использование частот 28

1.4.5. Секторизованная сота 29

1.4.6. Задачи, выполняемые каналами в системе GSM 30

1.4.7. Каналы сигнализации радиоинтерфейса 34

1.4.8. Некоторые примеры работы сети GSM 36

1.5. Протоколы сети GSM 46

1.5.1. Общая структура 46

1.5.2. Подсистемы сигнальных протоколов 48

1.5.3. Сигнальные протоколы третьего уровня 53

1.6. Частотный план в стандарте GSM 62

1.7. Структура кадров в стандарте GSM 64

1.7.1. Структура кадров трафика 64

1.7.2. Структура кадров управления 65

1.7.3. Организация физических каналов 68

1.8. Преобразование речи 70

1.8.1. Речевое кодирование 71

1.8.2. Канальное кодирование и модуляция 72

1.8.3. Перестановка/деперестановка. Шифрование/дешифрование 75

1.9. Методы улучшения качества передачи сигналов 77

Глава 2. СИСТЕМА МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ CDMA **80**

2.1. Многостанционный доступ с кодовым разделением 80

2.1.1. Функции Уолша 81

2.1.2. Корреляция и ортогональные функции Уолша ... 83
2.1.3. Неортогональные псевдослучайные функции ... 86
2.1.4. Ортогональное расширение с использованием функций Уолша ... 87
2.2. Сети на основе CDMA ... 90
2.2.1. Общие положения ... 90
2.2.2. Архитектура сети ... 91
2.2.3. Каналы трафика и управления ... 92
2.3. Кодирование ... 96
2.3.1. Кодирование в прямом канале ... 96
2.3.2. Кодирование в обратном канале ... 100
2.4. Некоторые примеры работы сети CDMA ... 101
2.4.1. Регистрация в сети ... 101
2.4.2. Обмен сигналами между мобильной и базовой приемопередающей станциями ... 102
2.4.3. Аутентификация и шифрование ... 104
2.5. Мягкая передача вызова и управление мощностью в системах CDMA ... 106
2.5.1. Пилот-сигнал ... 107
2.5.2. Параметры хэндовера ... 112
2.5.3. Процедура совмещенного мягкого хэндовера ... 116
2.6. Управление мощностью ... 120
2.6.1. Управление мощностью обратной линии связи ... 121
2.6.2. Управление мощностью прямой линии связи ... 131
2.7. Борьба с многолучевостью ... 132

Глава 3. СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ ... 134

3.1. Стандарты третьего поколения ... 134
3.1.1. Пути эволюции систем третьего поколения ... 134
3.1.2. IMT-2000 ... 137
3.1.3. Сервисные требования ... 140
3.1.4. Требования к спектру ... 144
3.1.5. Совместимость ... 146
3.2. Типы систем третьего поколения ... 147
3.3. Система UMTS ... 155
3.3.1. Архитектура системы ... 155
3.3.2. Пользовательское оборудование ... 157
3.3.3. Архитектура контроллера радиосети ... 158
3.3.4. Центр коммутации мобильной связи ... 160
3.3.5. Каналы ... 163
3.4. Общая модель протоколов UMTS ... 167

3.5. Интерфейсы отдельных участков ... 169
3.5.1. Уровень управления радиоресурсами ... 171
3.5.2. Прикладные протоколы ... 176
3.5.3. Протоколы различных уровней в системе UMTS ... 178
3.6. Процедуры сигнализации UTRAN ... 180
3.6.1. Протоколы прикладного уровня сети радиодоступа ... 181
3.6.2. Прикладной протокол взаимодействия базовых станций ... 183
3.6.3. Процедуры и сообщения прикладной подсистемы радиосети ... 184
3.6.4. Нотация сигнальных процедур ... 186
3.6.5. Процедура широковещательной передачи информации ... 186
3.6.6. Процедуры оповещения ... 187
3.6.7. Установление сигнального канала для передачи с помощью системы, не разделенной на уровни ... 189
3.6.8. Установление соединения RRC с использованием специализированного транспортного канала ... 190
3.7. Процедуры мягкого хэндовера ... 192
3.7.1. Дополнение радиоканала ... 193
3.7.2. Удаление радиоканала ... 194
3.7.3. Одновременное дополнение и удаление соединений ... 196
3.8. Процедуры жесткого хэндовера ... 197
3.8.1. Жесткий хэндовер между контроллерами одной основной сети ... 197
3.8.2. Хэндовер с использованием интерфейса Iur ... 200
3.8.3. Хэндовер с использованием специализированных транспортных каналов интерфейса Iur. Организация каналов DCH ... 201
3.8.4. Хэндовер с коммутацией на основной сети ... 203
3.9. Изменение местоположения ... 205
3.9.1. Изменение местоположения соты с изменением обслуживающего RNC ... 205
3.9.2. Хэндовер между базовой станцией системы GSM и сетью наземного радиодоступа UMTS (UTRAN) ... 206
3.10. Физический уровень UMTS ... 208

Глава 4. СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА 802.16e. МОБИЛЬНЫЙ WiMAX ... 214

4.1. Основные характеристики и свойства ... 215
4.2. Основы ортогонального многостанционного доступа с частотным разделением каналов — OFDMA ... 218
4.3. Структура и формирование OFDMA-подканалов ... 220
4.3.1. Наращиваемый OFDMA ... 222

4.3.2. Формирование подканала с полным использованием поднесущих частот в направлении «вниз» ... 222
4.3.3. Распределение поднесущих с частичным использованием в направлении «вниз» ... 223
4.3.4. Распределение поднесущих в направлении «вверх» ... 224
4.3.5. Распределение поднесущих с помощью смежных перестановок ... 226
4.3.6. Зоны переключения ... 226
4.3.7. Структура кадра TDD ... 227
4.4. Основные процедуры WiMAX ... 229
4.4.1. Процедуры физического уровня ... 229
4.4.2. Управление доступом к среде ... 232
4.4.3. Обеспечение качества обслуживания ... 232
4.4.4. Служба планирования управления доступом к среде ... 234
4.4.5. Управление мощностью ... 234
4.4.6. Инициализация вызова и запрос полосы ... 235
4.4.7. Передача вызова (хэндовер) ... 236
4.4.8. Безопасность ... 237
4.5. Современные технологии мобильного WiMAX ... 238
4.5.1. Технологии интеллектуальной антенны ... 238
4.5.2. Частичное повторное использование частоты ... 245
4.5.3. Групповая доставка и широковещательное обслуживание ... 246
4.6. Параметры мобильного WiMAX ... 248
4.7. Архитектура мобильного WiMAX ... 249

Глоссарий ... **258**

Список сокращений ... **277**

Литература ... **286**

ВВЕДЕНИЕ

Характерная черта современного мира — широкое использование подвижной связи. В настоящее время в большинстве стран количество абонентов, использующих мобильную связь, начинает превосходить количество абонентов стационарной сети. Уже существует мнение, что в скором времени многие абоненты откажутся от стационарной связи. Пока стационарная связь имеет некоторые преимущества по надежности и качеству услуг в основном в области широкополосных сетей и предоставления услуг мультимедиа.

Надежность сотовой связи и ее качество в настоящее время еще зависят от местности, погодных условий и электромагнитной обстановки. Абонент не всегда может быть уверен, что связь будет предоставлена в любом месте и в любое время.

Услуги мультимедиа, предоставляемые сетями подвижной связи, в ближайшее время должны быть дополнены доступом в Интернет и приемом подвижных изображений с качеством не хуже, чем обеспечиваемое в настоящее время системами xDSL. Поэтому исследования в этих направлениях составляют основу современной науки и практики развития мобильных систем.

Эта книга рассматривает принятые в настоящее время направления технологий реализации сетей и систем сотовой связи. В ней представлены основные системы и, следовательно, основные направления реализации. Это — оборудование, протоколы и процессы цифровых систем на базе стандартов GSM (глава 1), набор стандартов, связанных с технологией CDMA (глава 2), cdma2000, UMTS (глава 3) и очень перспективная в настоящее время система WiMAX стандарта IEEE 802.16e (глава 4).

Автор придерживался нейтральной позиции, не отдавая предпочтения ни одной из технологий, излагал строгие факты, архитектуры и процессы. И все же в книге представлена точка зрения автора на предпочтительность рассмотренных в книге технологий.

Система стандарта GSM, которая рассматривается в главе 1, не требует представления и пока является самой распространенной системой в Европе. В США имеется модификация этой системы. Ее сторонники подчеркивают хорошее качество речи, службу коротких сообщений (SMS), работу в сложных метеоусловиях, в условиях многолучевого распространения и минимального отношения сигнал/помеха.

Конкурентом GSM в борьбе за потребителя является система с кодовым разделением каналов (CDMA), о которой говорится в главе 2. Эта система построена на очень интересных, отличающихся от традиционных, теоретических принципах (функции Уолша, псевдослучайные последовательности). Сторонники этой технологии приводят следующие преимущества: максимальное использование частотного диапазона, экономный расход мощности

батареи терминала и, следовательно, более долгий срок службы, максимальная для подвижных систем конфиденциальность и скрытность информации, устойчивость к многолучевым замираниям и индустриальным помехам. К недостаткам системы относят необходимость сложного и точного механизма регулирования мощности.

Наиболее широкие исследования, проведенные в рамках программы IMT-2000, рассмотрены в главе 3. Основные задачи этого направления упрощенно можно сформулировать как достижение рабочего диапазона до 2 Мбит/с, т.е. диапазона, характерного для сетей интегрального обслуживания ISDN, и соответственно, предоставление аналогичных услуг.

На базе этого проекта разработано множество подпроектов (cdma2000, UWC-136 и другие), которые кратко рассмотрены в этой книге. Наиболее подробно рассмотрен общеевропейский проект UMTS. В концепции этого проекта основное внимание уделяется организации взаимодействия с системами стандарта GSM и их последующими модификациями (GPRS, EDGE).

Основные задачи этих систем можно концентрировано выразить в следующих положениях:

– глобальный роуминг благодаря всеобщей стандартизации и согласованности протоколов;
– совмещение услуг передачи речи со скоростной передачей данных;
– взаимодействие со спутниковыми системами.

По мнению автора, указанные задачи не были полностью решены, и внедрению этих систем реально угрожает конкуренция с новой системой внутригородской связи WiMAX, базирующейся на стандарте IEEE.802.16e, которой посвящена глава 4. Этот стандарт является результатом большой работы над сетями радиодоступа. На начальной стадии проект имеет некоторые ограничения и намечается поэтапный подход к внедрению этой системы. Начальный этап — внедрение фиксированного или сеансового широкополостного доступа. При этом передвижение абонента ограничивается пределами одной зоны. Следующий этап — полное перемещение по сети, при котором не обеспечивается выполнение всех услуг при передаче вызова. И последний этап — полнофункциональное обслуживание, которое гарантирует непрерывное выполнение всех услуг связи при перемещении абонента. Насколько быстро будут выполнены эти этапы покажет будущее.

Уже известны коммерческие предложения по обеспечению беспроводных услуг скоростного Интернета в библиотеках и скверах, находящихся рядом со зданиями компаний, т.е при первом и втором видах доступа. Но как показывают темпы разработки и внедрения систем широкополосной радиосвязи, возможна быстрая реализация последних двух видов доступа (упрощенный мобильный, полнофункциональный).

Поставленные задачи весьма сложны, если принять во внимание предоставляемый абоненту частотный диапазон 1...5 Мгц и обеспечение качественной связи в условиях отсутствия прямой видимости (около 3 км). Перспектива, которую ставят перед собой разработчики широкополосной системы мобильной связи, — передача данных со скоростью 134 Мбита/с и дальность обмена 50 км (без прямой видимости). Указанные параметры порождают множество прикладных задач, которые достаточно усложняют процессы передачи вызова (хэндовера) и перехода между сетями (роумнига).

Эти амбициозные задачи подкрепляются новыми или существенно доработанными решениями. В частности, это наращиваемый ортогональный многочастотный доступ с применением быстрого преобразования Фурье, многоэлементные антенны (MIMO), адаптивная модуляция, дифференцированное качество обслуживания и т.п.

Перечисленные серьезные теоретические проблемы решаются с помощью современных математических методов (например, коды Альмоути). Их рассмотрение позволяет проследить возможные пути развития данной области техники, проанализировать возможные практические пути реализации новых технологий.

Следует заметить, что развитие сетей мобильной связи не остановилось на рассмотренных выше системах. В настоящее время уже проводятся исследования в области программно-ориентированных средств радиопередачи SDR (Software Defined Radio). Функции таких систем в основном определяются программным обеспечением, что позволяет легко адаптировать их к различным приложениям. Рассмотрение и анализ таких систем могут явиться предметом отдельной книги.

Глава 1

СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ. СТАНДАРТ GSM

1.1. История GSM

В начале 1980-х в Европе, особенно в Скандинавии и Великобритании, а также во Франции и Германии наблюдался быстрый рост мобильной телефонной связи. Каждая страна разработала свою собственную систему, которая была не совместима в части оборудования и функционирования. Такая ситуация была нежелательна, поскольку подвижная аппаратура не только была ограничена функционированием в пределах национальных границ, но также очень ограничивала рынок для каждого типа оборудования. Это лимитировало сбыт и окупаемость расходов на мобильную связь.

В 1982 г. Конференция европейских администраций почт и телекоммуникаций (CEPT — Conference of European Post and Telecommunications) сформировала группу GSM (Group Special Mobile) для изучения и разработки европейской мобильной наземной системы [42, 104]. Предложенная система должна была удовлетворять некоторым критериям:

– хорошее субъективное качество речи;
– низкая стоимость оконечных устройств и обслуживания;
– поддержка международной подвижной связи;
– способность обслуживать малогабаритные терминалы;
– обеспечение диапазона новых услуг и средств;
– эффективное использование радиоспектра;
– совместимость с ISDN.

В 1989 ответственность за разработку стандарта GSM была передана Европейскому институту стандартов в области телекоммуникаций (ETSI, European Telecommunications Standards Institute). Первые спецификации GSM были изданы в 1990 году. Коммерческая эксплуатация систем была начата в середине 1991, и к 1993 году было создано 36 сетей GSM в 22 странах.

Хотя стандарт GSM принят в Европе, это — не только европейский стандарт. Сегодня работают более 200 сетей GSM (включая DCS-1800 и PCS-1900)

в 110 странах во всем мире. Северная Америка, имеет разновидность GSM, называемую PCS-1900.

Системы GSM существуют теперь на каждом континенте, и сокращение GSM теперь означает Глобальную систему мобильной связи (Global System for Mobile communications).

Разработчики GSM выбрали не опробированную в то время цифровую систему в противоположность применявшимся тогда аналоговым сотовым системам: усовершенствованной системе мобильной связи в Соединенных Штатах (AMPS — Advances Mobile Phone System) и системе с полным доступом (TACS — Total Access Communications System) в Великобритании. Разработчики верили, что усовершенствованные алгоритмы сжатия информации и применение цифровых сигнальных процессоров позволят выполнить поставленные задачи и дадут возможность непрерывно усовершенствовать систему в направлении повышения качества и снижения стоимости. Более чем 8000 страниц рекомендаций стандарта GSM позволили построить гибкую и конкурентоспособную систему и обеспечить достаточную стандартизацию, гарантирующую надлежащее межсетевое взаимодействие между компонентами системы. Это обеспечивается описанием интерфейсов для каждого из функциональных объектов, определенных в спецификациях.

1.2. Услуги, обеспечиваемые системой GSM

На начальном этапе разработчики системы GSM стремились обеспечить ее совместимость с цифровой системой интегрального обслуживания ISDN в части услуг и передачи сигналов управления [27, 93, 94]. Однако ограничения радиопередачи по пропускной способности и стоимости не позволяли достигнуть стандартной для ISDN скорости передачи информации B-канала 64 кбит/с.

В соответствии с определением ITU-T, телекоммуникационные услуги могут быть разделены на основные и дополнительные [77–79, 115]. Основная услуга, поддерживаемая GSM, — телефонная связь. Речь закодирована в цифровой форме и передается через сеть GSM как цифровой поток. Существуют также экстренные службы, где, набирая три цифры, можно получить связь с ближайшим пунктом этой службы.

GSM предоставляет следующие дополнительные услуги:

1) телефонная связь (совмещается со службой сигнализации: охрана квартир, сигналы бедствия и пр.);

2) передача коротких сообщений;

3) доступ к службам «Видеотекс», «Телетекст»;

4) служба «Телефакс» (группа 3).

Пользователи GSM могут обмениваться данными со скоростью свыше 9600 бит/с с:

- пользователями обычной телефонной сети (POTS — Plain Ordinary Telephone Service);
- цифровой сетью интегрального обслуживания (ISDN);
- сетью передачи данных общего пользования с пакетной коммутацией (PSPDN — Packet Switched Public Data Network);
- сетью передачи данных общего пользования с коммутацией каналов (CSPDN — Circuit Switched Public Data Network).

Стандарт GSM предусматривает передачу данных в следующих режимах:

- асинхронно в дуплексном режиме со скоростями 300, 600, 1200, 2400, 4800 и 9600 бит/с через телефонные сети общего пользования;
- синхронно в дуплексном режиме со скоростями 1200, 2400, 4800 и 9600 бит/с через телефонные сети общего пользования, коммутируемые сети передачи данных общего пользования (CSPDN) и ISDN;
- доступ с помощью адаптера пакетной асинхронной передачи со стандартными скоростями 300–9600 бит/с через сети пакетной коммутации данных общего пользования (PSPDN);
- синхронный дуплексный доступ к сети пакетной передачи данных со стандартными скоростями 2400–9600 бит/с.

При передаче данных со скоростью 9,6 кбит/с всегда используется канал связи с полной скоростью передачи. В случае передачи на скоростях ниже 9,6 кбит/с могут использоваться полускоростные каналы связи.

При этом используются разнообразные методы доступа и протоколы, такие как X.25 или X.32 [86]. Так как GSM — цифровая сеть, между пользователем и сетью GSM не требуется модем, хотя аудиомодем требуется в сети GSM для взаимодействия с обычной телефонной сетью.

Уникальная особенность GSM, которая отсутствует в старых аналоговых системах, — служба передачи коротких сообщений (SMS — Short Massage Service). SMS — двунаправленное обслуживание коротких алфавитно-цифровых (не свыше 160 байтов) сообщений. Сообщения транспортируются способом с промежуточным накоплением (store-and-forward fashion). При соединении между двумя абонентами SMS-сообщение можно передать третьему абоненту и получить подтверждение. SMS может также использоваться в широковещательном режиме для того, чтобы послать такие сообщения как модификация трафика или модификация новостей. Сообщения могут также быть сохранены в SIM-карте абонента (SIM — Subscriber Identification Module) для более позднего использования.

Дополнительно стандартизован широкий спектр особых услуг (включение в закрытую группу пользователей, передача вызова, оповещение о тариф-

ных расходах и т.д.). Они включают несколько вариантов переадресации вызова и запрет на вызов при входящей и исходящей связи, например при роуминге (изменении местоположения) в другой стране. Осуществляются такие услуги как идентификация вызывающего абонента, режим «ждущий вызов», многосторонняя конференцсвязь.

В перечисленных возможностях особое место занимает информация о закрытой группе. Закрытая группа пользователей (CUG — Closed User Group) — это группа абонентов, устанавливающая соединение и обменивающаяся информацией преимущественно в собственных пределах. Возможно предоставление входящей и исходящей связи вне этой группы. При этом абонентам при связи внутри группы предоставляются льготы. Примером такой группы является связь между членами одной семьи. Обычно компании сотовой связи предоставляют абонентам при такой связи пониженный тариф или бесплатную связь.

Следующая услуга — сопровождающий вызов — обеспечивает переадресацию входящего вызова на номер абонента стационарной сети.

В режиме «ждущий вызов» при занятости абонента входящий вызов ставится в режим ожидания освобождения предыдущего соединения. Абонент, к которому адресован вызов, получает предупреждающий сигнал. Абонент имеет возможность:

- завершить предыдущий вызов;
- кратковременным нажатием рычага трубки перейти на новое соединение;
- после разговора по новому соединению вернуться к старому и повторить это многократно.

Все перечисленные соединения относятся к группе дополнительных видов обслуживания, которые реализуются в сетях ISDN и современных сетях PSTN.

1.3. Архитектура сети GSM

Сеть GSM состоит из нескольких функциональных объектов, функции и интерфейсы которых показаны на рис. 1.1. На этом рисунке представлены все компоненты, описанные в настоящем разделе.

Сеть GSM включает три основных части. Мобильные станции (MS), которые перемещаются с абонентом. Подсистема базовых станций (BSS), которая управляет радиолинией связи с мобильной станцией. Подсистема коммутации (SSS), главная часть которой — центр коммутации мобильный связи

(MSC), выполняет коммутацию между мобильными станциями и между мобильными или стационарными сетевыми пользователями. MSC также управляет работой, связанной с передвижением абонента. На рис. 1.1 не показан центр обслуживания, который наблюдает за надежным функционированием и изменениями в сети. Мобильная станция и подсистема базовых станций связываются по интерфейсу U_m, также известному как «воздушный интерфейс» или радиолиния связи. Подсистема базовых станций взаимодействует с центром коммутации мобильной связи по А-интерфейсу.

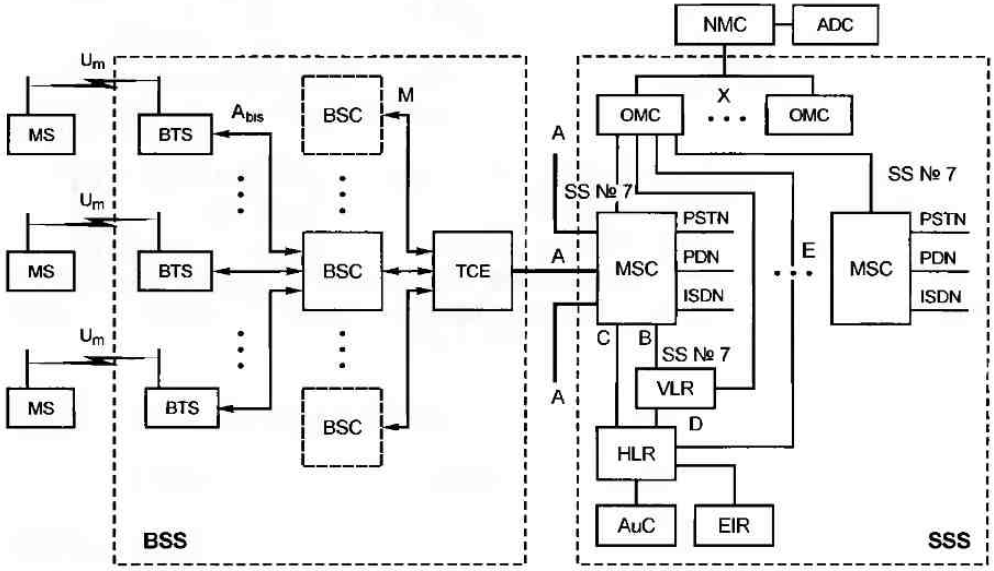


Рис. 1.1. Архитектура сети и интерфейсы GSM

ADC	Administration Center	Административный центр
AuC	Authentication Center	Центр аутентификации
BTS	Base Ttransceiver Station	Базовая приемо-передающая станция
BSC	Base Station Controller	Контроллер базовой станции
BSS	Base Station System	Подсистема базовой станции
EIR	Equipment Identification Register	Регистр идентификации оборудования
HLR	Home Location Register	Домашний регистр местоположения
ISDN	Integrated Services Digital Network	Цифровая сеть с интеграцией служб
MS	Mobile Station	Мобильная станция
MSC	Mobile Switching Center	Центр коммутации мобильной связи
NMC	Network Management Center	Центр управления сетью
OMC	Operation and Maintenance Center	Центр эксплуатации и технического обслуживания
PDN	Packet Data Network	Сеть пакетной коммутации
PSTN	Public Switched Telephone Network	Телефонная сеть общего пользования
SSS	Switching Subsystem	Коммутационная подсистема
VLR	Visit Location Register	Визитный регистр местоположения
TCE	Transcoder Equipment	Транскодер

1.3.1. Мобильная станция

Мобильная станция (MS) состоит из подвижной аппаратуры (терминал) и карты с интегральной схемой, включающей микропроцессор, которая называется модулем абонентской идентификации (SIM — Subscriber Identification Module). SIM-карта обеспечивает при перемещении доступ пользователя к оплаченным услугам независимо от используемого терминала. Вставляя SIM-карту в другой терминал GSM, пользователь может принимать вызовы, делать вызовы с этого терминала и получать другие услуги.

Подвижная аппаратура однозначно определяется с помощью международного опознавательного кода (идентификационного номера) мобильного оборудования (IMEI — International Mobile Equipment Identity). SIM-карта содержит международный опознавательный код мобильного абонента (IMSI — International Mobile Subscriber Identity), используемый для идентификации абонента, секретный код для удостоверения подлинности и другую информацию. IMEI и IMSI независимы в целях обеспечения наиболее вероятного опознавания личности и оборудования при передвижении абонента. SIM-карта может быть защищена против неправомочного использования паролем или личным номером.

Используется три типа оконечного оборудования подвижной станции: MT0 (Mobile Terminal 0) — многофункциональная подвижная станция, в состав которой входит терминал данных с возможностью передачи и приема данных и речи; MT1 (Mobile Terminal 1) — подвижная станция с возможностью связи через терминал с ISDN; MT2 (Mobile Terminal 2) — подвижная станция с возможностью подключения терминала для связи по протоколам МККТТ серий V или X.

Терминальное оборудование может состоять из оборудования одного или нескольких типов, такого как телефонная трубка с номеронабирателем, аппаратура передачи данных (DTE), телекс и т.д.

Различают следующие типы терминалов: TE1 (Terminal Equipment 1) — терминальное оборудование, обеспечивающее связь с ISDN; TE2 (Terminal Equipment 2) — терминальное оборудование, обеспечивающее связь с любым оборудованием по протоколам МККТТ серий V или X (связь с ISDN не обеспечивает). Терминал TE2 может быть подключен как нагрузка к MT1 (подвижной станции с возможностью связи с ISDN) через адаптер TA.

1.3.2. Подсистема базовых станций

Подсистема базовых станций содержит два вида оборудования: базовую приемопередающую станцию (BTS — Base Transceiver Station) и контроллер

базовой станции (BSC — Base Station Controller). Они взаимодействуют через стандартизированный интерфейс A_{bis} (см. рис. 1.1).

На BTS размещается приемопередатчик, который для одной определенной соты реализует протоколы взаимодействия радиолинии с передвижной станцией. В большом городе обычно размещено большое количество BTS. Поэтому основные требования к BTS — прочность, надежность, портативность и минимальная стоимость.

Контроллер базовой станции управляет радиоресурсами одной или более BTS. Он управляет выбором и установлением соединения по радиоканалу, скачком частоты и хэндовером, как это будет показано ниже. BSC подключается между BTS и центром коммутации мобильный связи (MSC).

1.3.3. Коммутационная подсистема сети

Центр коммутации мобильной связи (MSC)

Центральный компонент подсистемы сети — центр коммутации мобильный связи (MSC). Он работает как обычный узел коммутации общедоступной телефонной сети (PSTN) или цифровой сети интегрального обслуживания (ISDN). Дополнительно он обеспечивает все функциональные возможности мобильного абонента, такие как регистрация, аутентификация, обновление местоположения, передача соединения (хэндовер) и маршрутизация вызова при передвижении объекта. Эти функции обеспечиваются совместно несколькими функциональными объектами, которые вместе формируют коммутационную подсистему сети. MSC обеспечивает подключение к фиксированным сетям, таким как телефонная сеть PSTN или ISDN. При передаче сигналов между функциональными объектами в коммутационной подсистеме сети используется общий канал сигнализации ОКС–7 (SS7), такой же, как используется для обмена в ISDN и в сетях общего пользования.

Центр коммутации подвижной связи обслуживает группу сот и обеспечивает все виды соединений, в которых нуждается в процессе работы подвижная станция. MSC аналогичен коммутационной станции ISDN и реализует интерфейс между фиксированными сетями (PSTN, PDN, ISDN и т.д.) и сетью подвижной связи. Он обеспечивает маршрутизацию вызовов и функции управления вызовами. Кроме выполнения функций обычной коммутационной станции ISDN, на MSC возлагаются функции коммутации радиоканалов. К ним относятся «эстафетная передача», в процессе которой достигается непрерывность связи при перемещении подвижной станции из соты в соту, и переключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностях.

Каждый MSC обеспечивает обслуживание подвижных абонентов, расположенных в пределах определенной географической зоны (например, Москва

и область). MSC управляет процедурами установления вызова и маршрутизации. Для телефонной сети общего пользования MSC обеспечивает функции сигнализации по ОКС–7, передачи вызова и поддерживает другие виды интерфейсов в соответствии с требованиями конкретного проекта.

MSC формирует данные, необходимые для выписки счетов за предоставленные сетью услуги связи, накапливает данные по состоявшимся разговорам и передает их в центр расчетов (биллинг-центр). MSC составляет также статистические данные, необходимые для контроля работы и оптимизации сети; он поддерживает процедуры безопасности, применяемые для управления доступом к радиоканалам.

MSC не только участвует в управлении вызовами, но также управляет процедурами регистрации местоположения и передачи управления, кроме передачи управления в подсистеме базовых станций (BSS). Регистрация местоположения подвижных станций необходима для обеспечения доставки вызова перемещающимся абонентам от абонентов телефонной сети общего пользования или других подвижных абонентов. Процедура передачи вызова позволяет сохранять соединения и обеспечивать ведение разговора, когда подвижная станция перемещается из одной зоны обслуживания в другую. Передача вызовов в сотах, управляемых одним контроллером базовых станций, осуществляется этим BSC. Когда передача вызовов осуществляется между двумя сетями, управляемыми разными BSC, то первичное управление осуществляется в MSC. В стандарте GSM также предусмотрены процедуры передачи вызова между сетями (контроллерами), относящимися к разным MSC. Центр коммутации осуществляет постоянное слежение за подвижными станциями, используя домашние регистры местоположения (HLR — Home Location Register) и визитные регистры местоположения (VLR — Visit Location Register).

Домашний регистр местоположения (HLR)

В HLR хранится та часть информации о местоположении какой-либо подвижной станции, которая позволяет центру коммутации доставить вызов определенной мобильной станции. Практически HLR представляет собой справочную базу данных о постоянно зарегистрированных в сети абонентах. В ней содержатся опознавательные номера и адреса, а также параметры подлинности абонентов, состав услуг связи, специальная информация о маршрутизации. Ведется регистрация данных о роуминге (блуждании) абонента, включая данные о вре́менном идентификационном номере подвижного абонента (TMSI — Temporary Mobile Subscriber Identity) и соответствующем визитном регистре местоположения (VLR). Регистр HLR содержит международный

идентификационный номер подвижного абонента (IMSI — International Mobile Subscriber Identity), состав услуг связи, специальную информацию о маршрутизации. Он используется для опознавания подвижной станции в центре аутентификации (AUC — Authentication Center).

Домашний регистр местоположения вместе с MSC обеспечивает маршрутизацию вызова и изменения местоположения (роуминг) мобильной станции. Он содержит всю административную информацию каждого абонента, зарегистрированного в соответствующей сети GSM, наряду с информацией о текущем местоположении мобильных станций. Местоположение мобильных станций находится обычно в форме адреса данной мобильной станции в VLR (Visit Location Register). Более детально процедура маршрутизации будет описана позже. Логически для каждого абонента существует один HLR в сети GSM, хотя он может быть реализован как распределенная база данных. К данным, содержащимся в HLR, имеют дистанционный доступ все MSC и VLR сети и, если в сети имеются несколько распределенных HLR, в базе данных содержится только одна запись об абоненте, поэтому каждый HLR представляет собой определенную часть общей базы данных сети об абонентах. Доступ к ней осуществляется по номеру IMSI или по номеру подвижной станции в сети ISDN (MSISDN — Mobile Station ISDN Number). К базе данных могут получить доступ MSC или VLR, относящиеся к другим сетям, в рамках обеспечения межсетевого роуминга абонентов.

Визитный регистр местоположения (VLR)

Второе основное устройство, обеспечивающее контроль над передвижением подвижной станции из зоны в зону, — визитный регистр местоположения VLR. С его помощью достигается функционирование подвижной станции за пределами зоны, контролируемой HLR. Когда в процессе перемещения подвижная станция переходит из зоны действия одного контроллера базовой станции BSC, объединяющего группу базовых станций, в зону действия другого BSC, она регистрируется новым BSC, и в VLR заносится информация о номере области связи, которая обеспечит доставку вызовов подвижной станции. Для сохранности данных, находящихся в HLR и VLR, в случае сбоев предусмотрена защита устройств памяти этих регистров.

VLR содержит такие же данные, как и HLR, однако эти данные содержатся в VLR только до тех пор, пока абонент находится в зоне, контролируемой VLR.

В сети подвижной связи GSM соты группируются в географические зоны (LA — Location Area), которым присваивается свой идентификационный номер (LAC — Location Area Code). Каждый VLR содержит данные об абонен-

тах в нескольких LA. Когда подвижный абонент перемещается из одной LA в другую, данные о его местоположении автоматически обновляются в VLR. Если старая и новая LA находятся под управлением различных VLR, то данные на старом VLR стираются после их копирования в новый VLR. Текущий адрес VLR абонента, содержащийся в HLR, также обновляется.

VLR обеспечивает также присвоение номера для услуг роуминга мобильной станции (MSRN — Mobile Station Roaming Number). Когда подвижная станция принимает входящий вызов, VLR выбирает MSRN и передает его на MSC, который осуществляет маршрутизацию этого вызова к базовым станциям, находящимся рядом с подвижным абонентом.

Во время движения подвижная станция может покинуть зону, обслуживаемую одним MSC/VLR, и переместиться в зону, которую обслуживает другой MSC/VLR. В этом случае MSC/VLR участвует в передаче управления от одного MSC/VLR к другому. Он также присваивает новый временный номер TMSI подвижному абоненту и передает его в HLR. Новый VLR инициирует процедуру установления подлинности абонента и его оборудования. Кроме случая, когда подвижный абонент меняет зону местоположения, временный номер может периодически изменяться по решению оператора с целью защиты от злонамеренного опознавания номеров участников разговора. В этом случае процедура изменения идет также с использованием VLR. Для доступа к VLR могут использоваться идентификационные номера IMSI, TMSI и MSRN.

В заключении отметим, что VLR — это локальная база данных в данной зоне о подвижном абоненте. Применение VLR позволяет сократить число запросов HLR, что снижает сетевой трафик и уменьшает время обслуживания.

В табл. 1.1, 1.2, 1.3 приведены примеры состава долговременных и временных данных, хранящихся в HLR и VLR

Таблица 1.1. Состав долговременных данных, хранящихся в HLR и VLR

1	Международный идентификационный номер подвижного абонента (IMSI — International Mobile Subscriber Identity)
2	Номер подвижной станции в сети ISDN (MSISDN)
3	Категория подвижной станции
4	Ключ засекречивания
5	Используемые пароли
6	Класс приоритетного доступа
7	Список разрешенных дополнительных видов обслуживания
8	Оповещение вызываемого абонента о номере вызывающего абонента
9	Разрешение/запрещение идентификации номера вызываемого абонента
10	График работы мобильной станции

Продолжение таблицы 1.1

11	Индекс закрытой группы пользователей
12	Код блокировки закрытой группы пользователей
13	Состав вызовов, которые могут быть переданы
14	Свойства закрытой группы пользователей
15	Льготы закрытой группы пользователей
16	Запрещенные исходящие вызовы в закрытой группе пользователей
17	Максимальное количество абонентов закрытой группы

Таблица 1.2. Состав вре́менных данных, находящихся в HLR

1	Временный идентификационный номер подвижного абонента в VLR (TMSI — Temporary Mobile Subscriber Identity)
2	Параметры аутентификации и шифрования
3	Адрес регистра местоположения VLR
4	Код зоны местоположения
5	Номер соты при хэндовере
6	Регистрационные данные
7	Таймер ожидания ответа
8	Состав текущих паролей
9	Активность (есть/нет) соединения

Таблица 1.3. Состав вре́менных данных, находящихся в VLR

1	Временный идентификационный номер подвижного абонента (TMSI — Temporary Mobile Subscriber Identity)
2	Идентификаторы зоны расположения
3	Код зоны местоположения
4	Номер соты при хэндовере
5	Параметры аутентификации и шифрования

Регистры защиты и аутентификации

Для защиты и аутентификации используются два компонента. Регистр идентификации оборудования (EIR — Equipment Identity Register) и центр аутентификации (AuC — Authentication Center). EIR — база данных, которая содержит список всей доступной для обслуживания подвижной аппаратуры на сети, где каждая мобильная станция идентифицирована ее международным опознавательным кодом IMEI. Этот код может быть маркирован как запре-

щенный к обслуживанию, если мобильная станция украдена или принадлежит к типу оборудования, который не обслуживается. Центр аутентификации AuC — защищенная база данных, которая накапливает копии ключей шифрования, хранящихся в SIM-карте каждого абонента, и используется для аутентификации абонента и его оборудования, а также шифрования для передачи по радиоканалу.

Каждый подвижный абонент на время пользования системой связи получает стандартный модуль идентификации абонента (SIM), который содержит: идентификационный номер IMSI, свой индивидуальный ключ аутентификации (Ki), алгоритм аутентификации (A3).

С помощью записанной в SIM информации в результате взаимного обмена данными между подвижной станцией и сетью осуществляется полный цикл аутентификации, и разрешается доступ абонента к сети.

EIR содержит централизованную базу данных для подтверждения подлинности IMEI. Эта база данных относится исключительно к оборудованию подвижной станции. Она состоит из списков номеров IMEI, организованных следующим образом:

Белый список — содержит IMEI, о которых есть сведения о том, что они закреплены за санкционированными подвижными станциями. Терминалу позволяют соединиться с сетью.

Черный список — содержит IMEI подвижных станций, которые украдены или имеют некорректный тип мобильной станции для сети GSM, или которым отказано в обслуживании по другой причине. Терминалу не позволено соединиться с сетью.

Серый список — содержит IMEI подвижных станций, у которых существуют проблемы, выявленные по данным программного обеспечения, которые не являются основанием для внесения в черный список. Терминал находится под наблюдением сети ввиду возможных проблем.

К базе данных EIR получают дистанционный доступ MSC данной сети, а также MSC других подвижных сетей.

Как и в случае с HLR, сеть может иметь более одного EIR, при этом каждый EIR управляет своей группой оборудования, имеющей свой идентификационный номер IMEI. В этом случае в состав MSC входит транслятор, который при получении IMEI выбирает EIR, содержащий данные о части оборудования, имеющей этот номер.

Оборудование эксплуатации и технического обслуживания

OMC (Operation and Maintenance Center) — центр эксплуатации и технического обслуживания, является центральным элементом сети GSM,

который обеспечивает контроль и управление другими компонентами сети, а также контроль качества ее работы. OMC соединяется с компонентами сети GSM по каналам пакетной передачи, используя протокол X.25. Он обеспечивает функции обработки аварийных сигналов, предназначенных для оповещения обслуживающего персонала, и регистрирует сведения об аварийных ситуациях в других компонентах сети. В зависимости от характера неисправности OMC позволяет обеспечить ее устранение автоматически или при активном вмешательстве персонала. OMC может обеспечить проверку состояния оборудования сети и прохождения вызова подвижной станции. Он позволяет осуществлять управление нагрузкой в сети. Функция эффективного управления включает сбор статистических данных о нагрузке от компонентов сети GSM, запись их в дисковые файлы и вывод на дисплей для визуального анализа. OMC обеспечивает управление изменениями программного обеспечения и базами данных о конфигурации элементов сети. Загрузка программного обеспечения может производиться из OMC в другие элементы сети или из них в OMC.

NMC (Network Management Center) — центр управления сетью, позволяет обеспечивать рациональное иерархическое управление сетью GSM. Он обеспечивает эксплуатацию и техническое обслуживание на уровне всей сети, поддерживаемой центрами OMC, которые отвечают за управление региональными сетями. NMC обеспечивает управление трафиком во всей сети и диспетчерское управление сетью при сложных аварийных ситуациях, как например, выход из строя или перегрузка узлов. Кроме того, он контролирует состояние устройств автоматического управления, задействованных в оборудовании сети, и отражает на дисплее состояние сети для операторов NMC. Это позволяет операторам контролировать региональные проблемы и при необходимости оказывать помощь OMC, обслуживающему конкретный регион. Таким образом, персонал NMC знает состояние всей сети и может дать указание персоналу OMC изменить стратегию решения региональной проблемы.

NMC следит за состоянием маршрутов сигнализации и соединений между узлами с тем, чтобы не допускать условий для возникновения перегрузки в сети. Контролируются также маршруты соединений между сетью GSM и PSTN во избежание распространения условий перегрузки между сетями. При этом персонал NMC координирует вопросы управления сетью с персоналом других центров управления сетью. NMC обеспечивает также возможность управления трафиком, адресованным сетевому оборудованию подсистемы базовых станций (BSS). Операторы NMC в экстремальных ситуациях могут задействовать такие процедуры управления, как *приоритетный доступ*, ко-

гда только абоненты с высоким приоритетом (экстренные службы) могут получить доступ к системе.

NMC может брать на себя ответственность в каком-либо регионе, когда местный OMC не может обслуживать нагрузку, при этом OMC действует в качестве транзитного пункта между NMC и оборудованием сети. NMC предоставляет операторам возможности, аналогичные возможностям OMC.

Он является также важным инструментом планирования сети, так как контролирует сеть и ее работу на сетевом уровне, а, следовательно, обеспечивает планировщиков сети данными, определяющими нагрузочные параметры сети.

ADC (Administration Center) — административный центр — сетевая служба, ответственная за организацию связи, административное управление сетью и соблюдение установленных правил доступа.

TCE (Transconder Equipment) — транскодер, обеспечивает преобразование выходных сигналов передачи речи и данных MSC (64 кбит/с, ИКМ) к виду, соответствующему рекомендациям GSM по радиоинтерфейсу. В соответствии с этими требованиями скорость передачи речи, представленной в цифровой форме, составляет 13 кбит/с. Этот канал передачи цифровых речевых сигналов называется «полноскоростным». Стандартом предусматривается использование полускоростного речевого канала (скорость передачи — 6,5 кбит/с).

Снижение скорости передачи обеспечивается применением специального речепреобразующего устройства, использующего кодирование с линейным предсказанием (LPC — Linear Predictive Coding), долговременное предсказание (LTP — Long Term Predicting), возбуждение регулярной импульсной последовательностью (RPE — Regular Pulse Excitation).

Передача цифровых сообщений от транскодера по направлению к контроллеру базовых станций (BSC) осуществляется с добавлением к потоку со скоростью передачи 13 кбит/с дополнительных битов (stuffing). Таким образом, скорость передачи данных становится 16 кбит/с. Затем осуществляется уплотнение с кратностью 4 в стандартный канал 64 кбит/с. Так формируется определенная Рекомендациями GSM 30-канальная ИКМ-линия, обеспечивающая передачу 120 речевых каналов. Шестнадцатый канал (64 кбит/с) (slot) выделяется отдельно для передачи информации сигнализации и часто содержит сигналы ОКС–7 или процедуры доступа к звену передачи данных для канала D — LAPD (Link Access Procedure for the D-channel).

В других каналах (64 кбит/с) могут передаваться также пакеты данных, согласующиеся с протоколом X.25.

1.4. Основные принципы организации сети GSM

1.4.1. Внутренние интерфейсы GSM

Внутренние интерфейсы сети GSM [22, 27, 32, 49] показаны на приведенном выше рис. 1.1 и перечислены в табл. 1.4.

Таблица 1.4. Типы внутренних интерфейсов сети GSM.

Тип	Связь между устройствами
A	MSC–BSS
A_{bis}	BSC–BTS
B	MSC–VLR
C	MSC–HLR
D	HLR–VLR
E	MSC–MSC
O	BSC–OMC
M	BSC–TCE
U_m	MS–BTS
X	OMC–OMC

A-интерфейс. Интерфейс между MSC и BSS (подсистема базовых станций — BSC+BTS) обеспечивает передачу сообщений для управления BSS, передачи вызова (хэндовера), а также для управления при изменении местоположения. A-интерфейс объединяет каналы связи и линии сигнализации. Последние используют ОКС–7. Полная спецификация A-интерфейса соответствует требованиям серии 08 Рекомендаций ETSI/GSM.

B-интерфейс. Интерфейс между MSC и VLR. Используется, когда MSC необходимо определить местоположение подвижной станции и он обращается к VLR. Если подвижная станция инициирует процедуру изменения местоположения, то MSC информирует свой VLR, который заносит всю изменяющуюся информацию в свои регистры. Эта процедура происходит всегда, когда MS переходит из одной области в другую. В случае, если абонент запрашивает специальные дополнительные услуги или изменяет некоторые свои данные, MSC также информирует VLR, который регистрирует изменения и при необходимости сообщает о них HLR.

C-интерфейс. Интерфейс между MSC и HLR используется для обеспечения взаимодействия MSC и HLR. MSC может послать сообщение HLR в

конце сеанса связи для того, чтобы абонент мог оплатить разговор. Когда сеть фиксированной телефонной связи не способна выполнить процедуру установления соединения подвижного абонента, MSC может запросить HLR с целью определения местоположения абонента для того, чтобы послать вызов MS.

D-интерфейс. Интерфейс между HLR и VLR используется для расширения обмена данными о положении подвижной станции, управления процессом связи. Основные услуги, предоставляемые подвижному абоненту, заключаются в обеспечении возможности передавать или принимать сообщения независимо от местоположения. Для этого HLR должен пополнять свои данные. VLR сообщает HLR о положении MS, управляя ею и изменяя информацию в процессе обновления местоположения, посылает все необходимые данные для обеспечения обслуживания подвижной станции.

E-интерфейс. Интерфейс между MSC обеспечивает взаимодействие между разными MSC при осуществлении процедуры хэндовера — «передачи» абонента из зоны в зону при его движении в процессе сеанса связи без ее перерыва.

A_{bis}-интерфейс. Интерфейс между BSC и BTS служит для связи BSC с BTS и определен Рекомендациями ETSI/GSM для процессов установления соединений и управления оборудованием. Передача осуществляется цифровыми потоками со скоростью 2,048 Мбит/с. Возможно использование физического интерфейса 64 кбит/с.

O-интерфейс. Интерфейс между BSC и OMC предназначен для связи BSC с OMC, используется в сетях с пакетной коммутацией X.25 (на рис. 1.1. не показан).

M-интерфейс. Внутренний интерфейс контроллера базовой станции обеспечивает связь между различным оборудованием BSC и оборудованием транскодирования (TCE); использует стандарт ИКМ-передачи 2,048 Мбит/с и позволяет организовать из четырех каналов со скоростью 16 кбит/с один канал на скорости 64 кбит/с.

U_m-радиоинтерфейс. Интерфейс между MS и BTS определен в сериях 04 и 05 Рекомендаций ETSI/GSM.

X-интерфейс. Интерфейс между OMC разных сетей и сетью коммутации, так называемый управляющий интерфейс между OMC и элементами сети. Определен Рекомендациями 12.01 ETSI/GSM и является аналогом интерфейса Q.3, который определен в модели ISO/OSI. Он предназначен для связи OMC различных центров эксплуатации GSM.

Соединения сети с OMC могут обеспечиваться системой сигнализации ОКС–7 или сетевым протоколом X.25.

1.4.2. Интерфейсы с внешними сетями

Соединение с PSTN. Соединение с телефонной сетью общего пользования осуществляется MSC по линии связи 2 Мбит/с в соответствии с системой сигнализации ОКС–7. Электрические характеристики интерфейса 2 Мбит/с соответствуют Рекомендациям МККТТ G.732.

Соединение с ISDN. Для соединения с сетями ISDN предусматриваются четыре линии связи 2 Мбит/с, поддерживаемые системой сигнализации ОКС–7.

Соединения с международными сетями GSM. В настоящее время обеспечивается подключение российской сети GSM к общеевропейским сетям GSM. Эти соединения осуществляются на основе протоколов систем сигнализации ОКС–7 четвертого уровня (SCCP — Signaling Connection Control Part) и межсетевого коммутационного центра мобильной связи (GMSC — Gateway MSC). Центр представляет собой узловую станцию, осуществляющую объединение сети GSM с одной или более наземными сетями. В ее функции входит преобразование форматов сигналов, конвертирование сетевых протоколов, а также взаимодействие с ТфОП.

1.4.3. Географические зоны сети GSM

Сеть GSM составлена из географических областей [81]. Как показано на рис. 1.2, эти области включают соты, зоны местоположения, зоны обслуживания MSC/VLR и мобильную наземную сеть общего пользования (PLMN — Public Land Mobile Network).



Рис. 1.2. Географические зоны системы GSM

Сота — область радиоохвата одного приемопередатчика одной BTS. Сеть GSM определяет каждую соту с помощью опознавательного кода глобального идентификатора соты (CGI — Cell Global Identity) — номера, который назначается каждой соте.

Зона местоположения (LA — Location Area) — группа сот. Это — область, в которой вероятнее всего может в данный момент перемещаться абонент. Каждая зона местоположения обслуживается одним или более контроллерами базовых станций и только единственным центром коммутации мобильной связи — MSC (рис. 1.2). Каждой зоне местоположения назначен идентификатор зоны нахождения абонента (LAI — Location Area Identity).

Зона обслуживания MSC/VLR представляет собой часть сети GSM, которая обслуживается одним MSC и зарегистрирована в VLR данного MSC (рис. 1.3).

Мобильная наземная сеть общего пользования PLMN (рис. 1.4) — это совокупность *зон обслуживания MSC/VLR*, принадлежащих одному оператору.

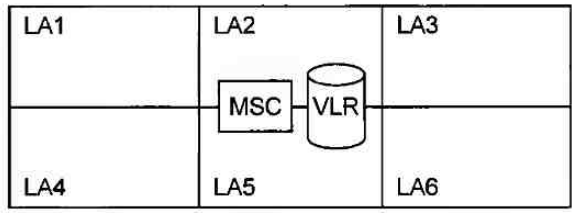


Рис. 1.3. Зона местоположения (LA)

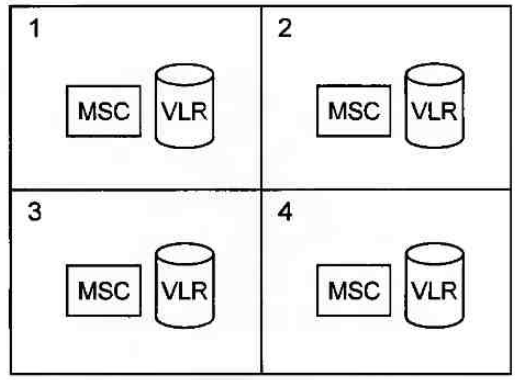


Рис. 1.4. Мобильная наземная сеть (PLMN)

1.4.4. Повторное использование частот

Повторное использование частот — способ организации связи, при котором одни и те же частоты многократно используются в разных зонах обслуживания [27, 32, 49, 101]. Применение частотно-территориального планирования с повторным использованием частот позволяет увеличить пропускную способность при ограниченном количестве частотных каналов.

Расстояние повторного использования частот (frequency reuse distance) — расстояние D между центрами двух удаленных сот, начиная с которого допускается повторное использование частот. В общем случае оно определяется по формуле $D = \sqrt{3NR}$, где N число ячеек в кластере; R — радиус ячейки (радиус окружности, описанной вокруг гексагональной ячейки).

Кластер (cluster) — группа из близко расположенных сот, в пределах которых не допустимо повторное использование из-за опасности превышения уровня взаимных помех. Размер кластера N определяется по формуле

$$N = i^2 + ij + j^2,$$

где i, j — целые числа.

Из этой формулы видно, что кластер может содержать только определенное число сот:

при $i = 0, j = 1, N = 1$;
$i = 1, j = 1, N = 3$;
$i = 0, j = 2, N = 4$;
$i = 1, j = 2, N = 7$;
$i = 0, j = 3, N = 9$;
$i = 2, j = 2, N = 12$;
и т.д.

Приведенное соотношение для D показывает, что чем меньше радиус ячейки R, тем выше коэффициент повторяемости частот ($1/N$), а следовательно, и эффективность использования выделенного диапазона частот. Отношение $k = D/R = \sqrt{3N}$ называется коэффициентом снижения внутриканальных помех и характеризует степень взаимного влияния удаленных сот, в которых используются одни и те же частотные каналы. Для приведенных выше значений N значения k равны: $k(1) = 1{,}7$; $k(3) = 3$; $k(4) = 3{,}5$; $k(7) = 4{,}6$; $k(9) = 5{,}2$; $k(12) = 6$.

Пример распределений частот при повторном использовании показан на рис. 1.5 (4-элементный кластер) и рис. 1.6 (7-элементный кластер).

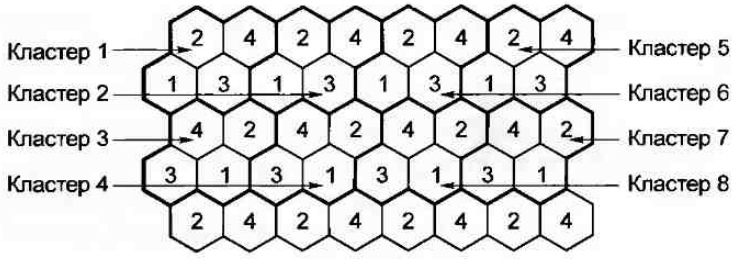


Рис. 1.5. Повторное использование частот при 4-элементном кластере

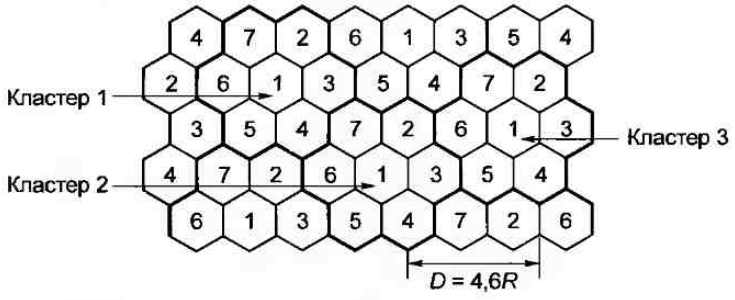


Рис. 1.6. Повторное использование частот при 7-элементном кластере

1.4.5. Секторизованная сота

Сота, в которой обслуживание абонентов осуществляется базовой станцией с секторной антенной, называется секторизованной сотой (sectorized cell). При этом зона покрытия антенны разделяется на секторы. Секторизация позволяет повысить пропускную способность системы сотовой связи без уменьшения размеров зоны покрытия или снижения мощности, излучаемой базовой станцией. Ширина диаграммы направленности секторной антенны соответствует угловому размеру сектора. В системах сотовой связи обычно используют антенны с шириной диаграммы направленности 120° (трехсекторная антенна). Обычно применяются кластеры размерностью 3/9, 4/12, 7/21, где первая цифра показывает число сот в кластере, а вторая — число секторов. На рис. 1.7, *а* показан пример применения 3-секторной антенны для кластера 3/9. В этом примере распределяются 9 групп частот.

В настоящее время применяются шестисекторные антенны с шириной диаграммы направленности 60°.

На рис. 1.7, *б* показана разработанная корпорацией Motorola сотовая сеть с шириной диаграммы направленности 60° и 12 группами несущих частот.

Этот кластер содержит 4 элемента и 6-секторную антенну (размерность кластера 4/24).

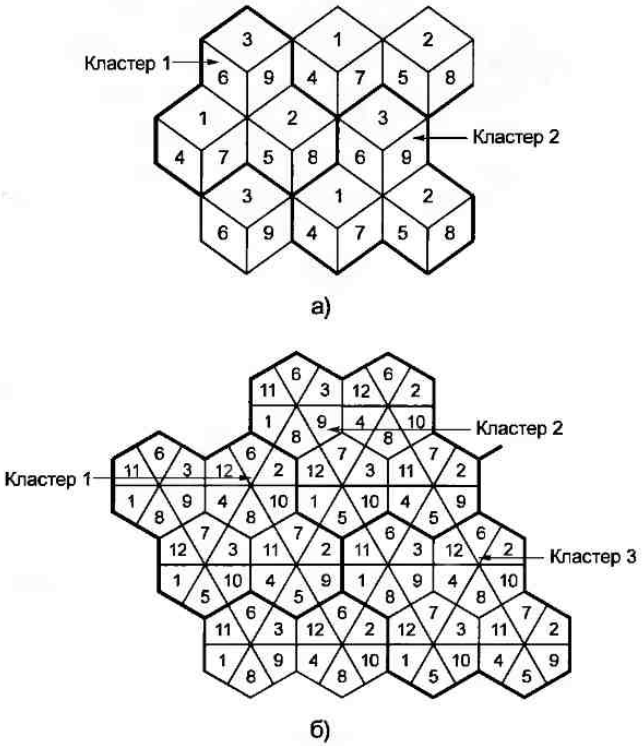


Рис. 1.7. Повторное использование частот в:
а) 3-секторной соте; б) 6-секторной соте

1.4.6. Задачи, выполняемые каналами в системе GSM

Очевидно, что использование радиоканалов в сети GSM отличается от использования в стационарной сети. Принцип использования каналов в системе GSM показан на рис. 1.8.

В стационарной сети абонентские линии (абонентские каналы трафика) закреплены за телефонным аппаратом. Когда известен номер абонента, то при исходящей или входящей связи не требуется выбор абонентской линии.

В сети GSM определены два типа каналов передачи: работающий на полной скорости (TCH/F — Traffic Channel/Full) — 22,8 кбит/с и работающий на половинной скорости (TCH/H — Traffic Channel/Half) — 11,4 кбит/с.

В мобильной связи каналы трафика доступны любому абоненту. Поэтому в процессе установления соединения может быть выбран любой канал, к которому может быть подключена станция. Поскольку в свободном состоянии абонентская линия не имеет связи с каналами трафика, она нуждается в канале управления, например, для передачи сигнала «вызов» (setup), номера вызывающего абонента и т.п. Поэтому для передачи запроса сети на установление соединения применяется канал, направленный от MS к сети. Это канал произвольного доступа (RACH — Random Control Channel). Поскольку запрос на установление соединения передается только в начале соединения, и в дальнейшем выделяется канал для обмена управляющей информацией, то этот канал является общим для всех станций зоны местоположения.

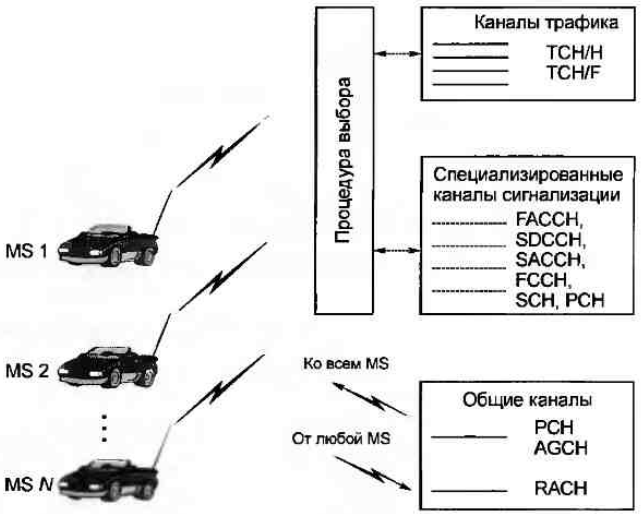


Рис. 1.8. Принцип использования каналов трафика и сигнальных каналов в системе GSM

AGCH	Access Grant Channel	Канал предоставления доступа
FACCH	Fast Associated Control Channel	Быстродействующий совмещенный канал управления
FCCH	Frequency Correction Channel	Канал подстройки частоты
PCH	Paging Channel	Широковещательный канал коротких сообщений (канал вызова)
RACH	Random Access Channel	Канал с произвольным доступом
SACCH	Slow Associated Control Channel	Низкоскоростной совмещенный канал управления
SCH	Synchronizing Channel	Канал синхронизации
SDCCH	Stand-alone Dedicated Control Channel	Автономный выделенный канал управления
TCH/F	Traffic Channel/Full	Канал трафика, работающий на полной скорости
TCH/H	Traffic Channel/Half	Канал трафика, работающий на половинной скорости

Для общего канала всегда нужна процедура доступа для избежания или разрешения конфликтов. В данном случае чаще всего применяется процедура случайного многостанционного доступа с временным разделением типа ALOHA (TDMA — Time Division Multiple Access). Принцип такого доступа основан на том, что все станции используют один канал связи, контролируя его работу, а передача осуществляется в случайные моменты времени, что уменьшает вероятность конфликтов.

В ответ на сигнал запроса на установление соединения выбирается автономный выделенный канал управления (SDCCH — Stand-alone Dedicated Control Channel), по которому в дальнейшем передается служебная информация от MS в течение установления вызова прежде, чем будет найден канал трафика (TCH).

Для входящей связи передача сигнала «занятие» к MS осуществляется по широковещательный каналу коротких сообщений (канал вызова) (PCH — Paging Channel), общему для всей соты. Этот канал передает сигнал «вызов» всем станциям зоны местоположения (LA). Получив такой сигнал, мобильная станция определяет свой номер и отвечает на широковещательный сигнал также как при исходящем вызове — сигналом запроса по каналу с произвольным доступом (RACH — Random Access Channel). Далее сигналы установления соединения проходят как и при исходящей связи.

Порядок обмена сигналами для входящего и исходящего соединений показан на рис. 1.9 [14].

На рисунке показаны некоторые особенности передачи сигналов. Ниже даны соответствующие пояснения. Обозначенные слева коды сигналов будут рассмотрены далее.

При входящей связи BTS пункта назначения (работа других элементов сети на данном рисунке не показана) выполняет следующие действия:

1. Передает широковещательный сигнал всем станциям в зоне обслуживания данного MSC. Сигнал передается по отдельному каналу управления — широковещательному каналу коротких сообщений (PCH — Paging Channel).

2. После этого MS по каналу управления — канал с произвольным доступом (RACH — Random Access Channel) — посылает запрос на срочное назначение индивидуального канала управления на время обмена сигналами. Наиболее распространенным методом случайного (произвольного) доступа является ALOHA, принцип которого описан выше. BTS выбирает канал для обмена управляющими сигналами.

3. BTS запрашивает данные аутентификации, которая осуществляется с помощью данных, полученных ранее при реализации процедуры аутентификации и защиты пользователя. В ответ на запрос MS передает накопленный в

SIM-карте зашифрованный отклик (SRES — Signed Response), что позволяет BTS установить подлинность MS.

4. Далее BTS передает запрос ключа шифрования.

5. После получения ответного ключа шифрования (если ключ правильный) проводится процедура установления соединения, которая уже рассмотрена при описании рис. 1.8.

Теперь можно рассмотреть подробнее весь состав сигнальных каналов.

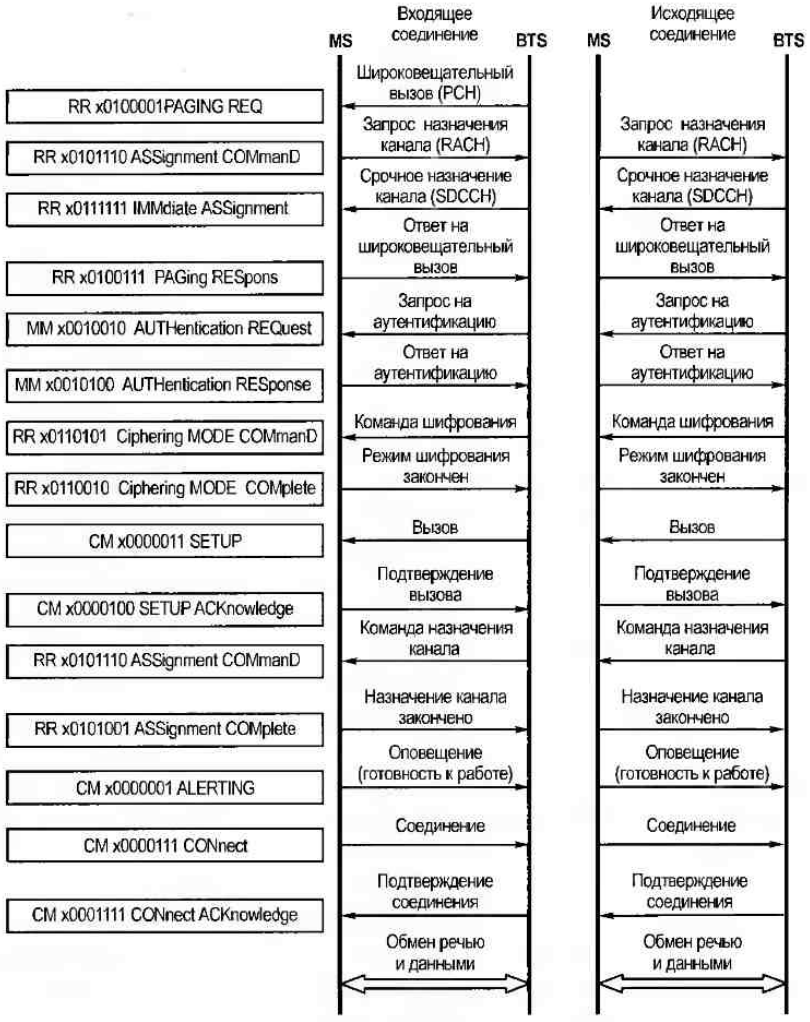


Рис. 1.9. Порядок обмена сигналами для входящего и исходящего соединений

1.4.7. Каналы сигнализации радиоинтерфейса

Каналы сигнализации радиоинтерфейса [32, 33] используются для установления вызова, широковещательной рассылки коротких сообщений, технического обслуживания вызова, синхронизации и т.д. (рис. 1.10).

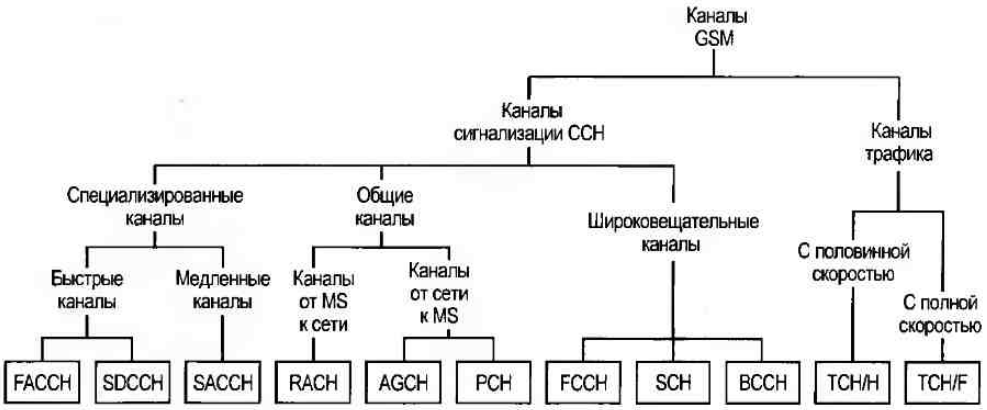


Рис. 1.10. Состав каналов радиоинтерфейса системы GSM

Существуют 3 группы каналов сигнализации [29, 32, 33, 110]:

Широковещательные каналы (BCH — Broadcast Channel) доставляют информацию от станции к абоненту (downstream) и предназначены, главным образом, для коррекции частоты и синхронизации. Это — единственный тип канала, допускающий связь «точка–много точек», при которой короткие сообщения могут быть переданы одновременно нескольким мобильным телефонам.

BCH включают следующие каналы:

- *широковещательный канал управления* (*BCCH — Broadcast Control Channel*): передает общую информацию, касающуюся сот, например, код зоны местоположения (LAC — Location Area Code), код сетевого оператора, код доступа, параметры, список соседних ячеек, и т.д. MS получают сигналы через BCCH от многих BTS в пределах той же самой сети или различных сетей;
- *канал подстройки частоты* (*FCCH — Frequency Correction Channel*): канал связи от сети к MS, предназначенный для коррекции частот MS и передачи частоты к MS. Он также используется для вхождения в синхронизм, обеспечивая соблюдение заданной дистанции между временными интервалами и позицией первого временного интервала кадра TDMA;

– *канал синхронизации* (*SCH — Synchronizing Channel*): исходящий канал от MS к сети; обеспечивает синхронизацию кадра TDMA и идентификацию базовой станции. SCH обеспечивает MS всей информацией, необходимой для синхронизации с BTS.

Общие каналы управления (CCCH — Common Control Channels) — группа каналов связи от абонента к станции и каналы связи от сети к MS. Эти каналы используются для передачи информации между сетью и MS. Общие каналы управления включают следующие каналы:

– *широковещательный канал коротких сообщений* (*канал вызова*) (*PCH — Paging Channel*): исходящий канал только от сети к MS; BTS информирует MS о входящих вызовах через PCH;
– *канал предоставления доступа* (*AGCH*): исходящий канал только от сети к MS; BTS распределяет TCH или SDCCH к MS, таким образом разрешая MS доступ к сети;
– *канал с произвольным доступом* (*RACH*): канал связи только от MS к сети; позволяет MS запрашивать SDCCH. Это делается в ответ на широковещательный запрос или на вызов по принципу случайного доступа.

Специализированные (выделенные) каналы управления (DCCH — Dedicated Control Channel) предназначены, например, для обслуживания: роуминга, изменения местоположения, передачи соединения (хэндовер), шифрования, и т.д.

DCCH включают следующие каналы:

– *автономный выделенный канал управления* (*SDCCH — Stand-alone Dedicated Control Channel*) соединяет MS и BTS для передачи сигналов в течение установления вызова прежде, чем будет найден канал трафика (TCH). Он необходим, например, для реализации хэндовера; применяется также для несрочных процедур, например, для измерения радиосигналов, управления мощностью (только исходящий канал от сети к MS);
– *низкоскоростной совмещенный канал управления* (*SACCH — Slow Associated Control Channel*) передает непрерывные сообщения об измерениях (например напряженность поля); параллельно с ним могут работать TCH или SDCCH. Он необходим, например, для решений хэндовера; применяется подобно TCH или SDCCH для несрочных процедур, в частности, для измерения радиосигналов, управления мощностью (только исходящий канал от сети к MS);
– *быстродействующий совмещенный канал управления* (*FACCH — Fast Associated Control Channel*). Его работа похожа на SDCCH, но он может использоваться временно как TCH в режиме перераспределения каналов (borrowing mode) совместно с SDCCH, если скорость передачи данных SDCCH недостаточна. Дополнительная пропускная способность ис-

пользуется, например, для процедур, связанных с установлением подлинности (аутентификацией), установлением соединения, хэндовером и т.д.

Почти все сигнальные каналы используют формат нормального пакета, кроме RACH, FCCH и SCH.

1.4.8. Некоторые примеры работы сети GSM

Обслуживание вызова от абонента стационарной сети к абоненту мобильной сети GSM

Приведенный пример [33, 36, 40, 81, 84, 86, 98, 107] описывает обслуживание вызова от абонента стационарной сети к абоненту мобильной сети GSM (рис. 1.11).

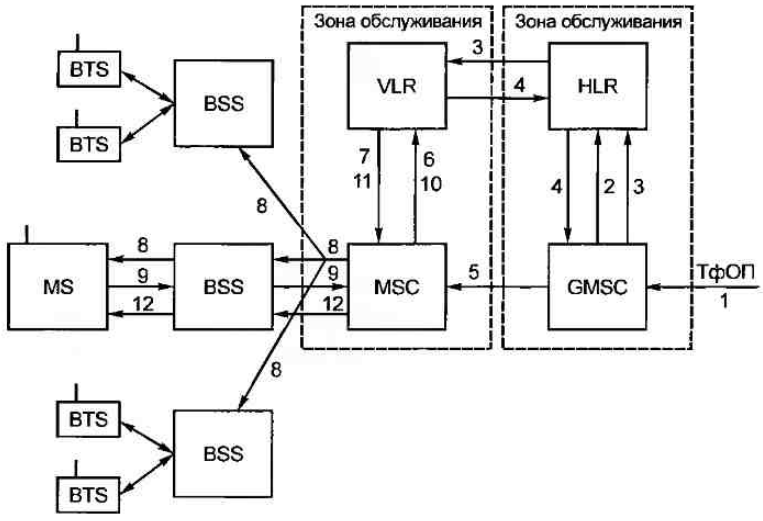


Рис. 1.11. Обслуживание вызова от абонента стационарной сети к абоненту мобильной сети GSM

В рассматриваемом примере порядок действий следующий:

1. Входящий вызов поступает от ТфОП на вход шлюза MSC (GMSC — Gateway MSC).

2. На основе международного опознавательного кода (IMSI) вызываемого мобильного абонента определяется домашний регистр местоположения (HLR).

3. Затем запрашивается соответствующий визитный регистр местоположения (VLR) для того, чтобы определить номер для услуг роуминга мобильной станции (рис. 1.12) — MSRN (Mobile Station Roaming Number).

4. Этот номер передается обратно в HLR GMSC.

5. Затем соединение переключается к соответствующему MSC.

6. MSC вырабатывает запрос VLR.

7. Теперь VLR делает запрос зоны местоположения LA и состояния (доступности) мобильного абонента. Если MS отмечена как доступная, то выполняется п. 8.

8. Передается широковещательный вызов по всей зоне нахождения, записанной в VLR.

9. Мобильный абонентский телефон отвечает на широковещательный запрос из текущей радиосоты.

10. После этого выполняются все необходимые процедуры безопасности (аутентификация и обмен шифровальными ключами). Если они выполнены успешно, то выполняется п. 11.

11. VLR указывает MSC, что вызов закончен, и передает MSC временный опознавательный код мобильной станции TMSI (рис. 1.12).

12. MSC передает TMSI к MS и информирует о начале работы.

На рис. 1.12 отдельно отображен процесс изменения номеров в процессе установления входящего вызова.

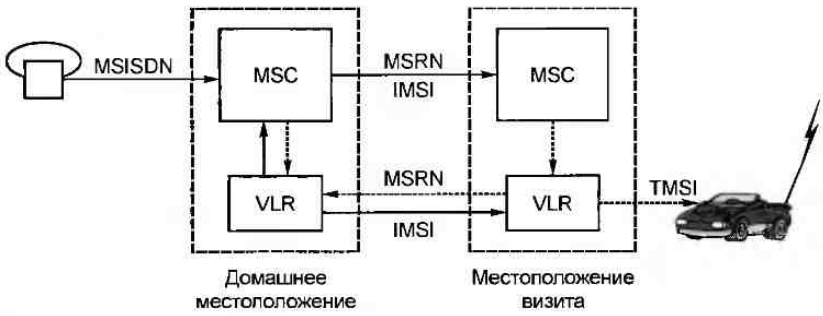


Рис. 1.12. Принцип изменения номера при установлении входящего вызова:

MSISDN — международный ISDN номер мобильной станции
MSRN — временный роуминговый номер мобильной станции
IMSI — международный опознавательный код мобильного абонента
TMSI — временный опознавательный код мобильного абонента
HLR — домашний регистр местоположения
VLR — визитный регистр местоположения

Регистрация в сети

При каждом включении мобильного телефона после выбора сети начинается процедура регистрации (рис. 1.13). Рассмотрим наиболее общий случай — регистрацию не в домашней, а в чужой, так называемой гостевой, сети. Будем предполагать, что услуга роуминга абоненту разрешена.

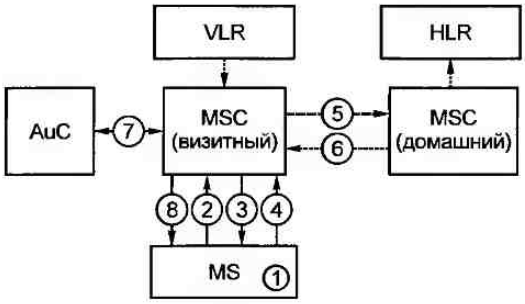


Рис. 1.13. Процесс регистрации

При этом выполняются следующие действия (рис. 1.13):

1. MS по широковещательному каналу управления (BCCH) проводит сканирование не менее 16 соседних сот; формируется список шести лучших кандидатов на возможную передачу соединения, основанную на полученной напряженности поля сигналов.

2. MS находит канал BCCH с наиболее высоким уровнем сигнала, проводит синхронизацию, расшифровывает идентификатор BTS и передает эту информацию к BSC и MSC.

3. По запросу MSC производит запрос MS с номером IMSI.

4. MS передает IMSI абонента. IMSI начинается с кода страны «приписки» его владельца, далее следуют цифры, определяющие домашнюю сеть, а уже потом — уникальный номер конкретного подписчика. Начало IMSI соответствует коду страны и оператору (например, 250 — Россия, 99 — Билайн).

5. По IMSI VLR гостевой сети определяет домашнюю сеть и запрашивает ее HLR.

6. Домашний регистр мобильного центра коммутации (MSC/HLR) передает всю необходимую информацию об абоненте в VLR, который сделал запрос, а у себя размещает ссылку на этот VLR, чтобы в случае необходимости знать, где «искать» абонента.

7. MSC совместно с VLR проводит проверку полномочий.

8. В положительном случае MSC включает MS в обслуживание.

После процедуры идентификации и взаимодействия гостевого VLR с домашним HLR запускается счетчик времени, задающий момент перерегистра-

ции в случае отсутствия каких-либо сеансов связи. Обычно период обязательной регистрации составляет несколько часов. Перерегистрация необходима для того, чтобы сеть получила подтверждение, что телефон по-прежнему находится в зоне ее действия. Дело в том, что в режиме ожидания «трубка» только отслеживает сигналы, передаваемые сетью, но сама ничего не излучает. Процесс передачи начинается только в случае установления соединения, а также при значительных перемещениях относительно сети (ниже это будет рассмотрено подробно). В таких случаях таймер, отсчитывающий время до следующей перерегистрации, запускается заново. Поэтому при «выпадении» телефона из сети (например, был отсоединен аккумулятор, или владелец аппарата зашел в метро, не выключив телефон) система об этом «не узнает».

При первом подключении абонента к сети выполняется операция закрепления международного опознавательного кода мобильной станции IMSI. Обратная закреплению процедура — открепление — позволяет сети «знать», что мобильная станция недостижима, и устраняет необходимость напрасно распределять каналы и передавать широковещательные сообщения. Процедура закрепления похожа на обновление местоположения и сообщает, что мобильная станция доступна снова.

Все пользователи случайным образом разбиваются на 10 равноправных классов доступа (с номерами от 0 до 9). Абоненту присваивается класс доступа. Существует несколько специальных классов с номерами с 11 по 15 (разного рода аварийные и экстренные службы, служебный персонал сети). Информация о классе доступа хранится в SIM-карте. Особый 10-й класс доступа позволяет совершать экстренные вызовы (по номеру 112), если пользователь не принадлежит к какому-либо разрешенному классу или вообще не имеет IMSI. В случае чрезвычайных ситуаций или перегрузки сети некоторым классам может быть на время закрыт доступ в сеть.

Обновление местоположения

При подвижной связи в случае включенной мобильной станции осуществляется постоянное слежение за местоположением даже в случае отсутствия соединения. В частности это необходимо для установления входящей связи. Включенная мобильная станция информируется о входящем вызове широковещательным сообщением, передаваемым по широковещательному каналу коротких сообщений (PCH — Paging Channel).

Один из вариантов определения местоположения — периодически сообщать о расположении объектов в каждой соте. При этом, если объект редко меняет свое местоположение (соту), это было бы излишним расходом пропу-

скной способности радиосети. Другой крайний случай — уведомлять систему при изменении местоположения мобильной станции широковещательным сообщением. Это очень расточительно из-за большого количества мобильных станций, обновляющих свое местоположение. Компромиссное решение, используемое в GSM, относится к оповещению о местоположении при смене группы сот в *области местоположения*, приводящей к ухудшению связи. Обновляющие сообщения требуются при перемещении между *областями местоположения*, и подвижные станции просматриваются в сотах их текущей области местоположения.

Процедуры обновления местоположения и соответствующая последующая маршрутизация используют центр коммутации мобильной связи и регистры HLR и VLR в тех случаях, когда мобильная станция:

- переключается на другие BTS и BSC в области местоположения;
- перемещается в новую область местоположения;
- переходит к другому оператору сети связи общего пользования для наземных объектов (PLMN).

Это перемещение должно регистрироваться сетью с целью указания ее текущего местоположения. В нормальном случае сообщение об обновлении местоположения передается новому центру коммутации мобильной связи (визитному регистру местоположения VLR), который записывает информацию об области местоположения и затем передает эту информацию домашнему регистру местоположения абонента. Информация, принимаемая HLR (обычно через ОКС–7), — это адрес нового VLR, хотя это может быть и номер направления. Если абонент имеет право на обслуживание в новой области местоположения, HLR передает набор абонентской информации, необходимой для управления вызовом, новому центру коммутации мобильной связи (MSC/VLR) и сообщение старому визитному регистру центра коммутации (MSC/VLR) об отмене старой регистрации.

Аутентификация и защита

Так как к радиосреде имеют доступ много устройств и абонентов, требуется аутентифицировать пользователей [56, 107]. Эта процедура (рис. 1.14) устанавливает подлинность и принадлежность к сети абонента и оборудования, определяет права и полномочия абонента и право доступа к сетевым ресурсам. Аутентификация проводится с помощью двух функциональных объектов: SIM-карты в мобильной станции и центром аутентификации (AuC — Authentication Center).

При регистрации AuC в домашней сети генерирует 128-битовое случайное число — RAND, пересылаемое телефону. Внутри SIM-карты с помощью

S

ключа *Kj* (ключ шифрования — так же как и IMSI, он содержится в SIM-карте), и алгоритма идентификации A3 вычисляется 32-битовый ответ — SRES* (Signed Response) по формуле SRES* = *Kj* ⊕ RAND. Точно такие же вычисления проделываются одновременно и в AuC (по выбранному из домашнего регистра *Kj* пользователя). Если SRES*, вычисленный в телефоне, совпадет со SRES, рассчитанным AuC, то процесс авторизации считается успешным, и абоненту присваивается TMSI, который служит исключительно для повышения безопасности взаимодействия абонента с сетью и может периодически меняться (в том числе при смене VLR).

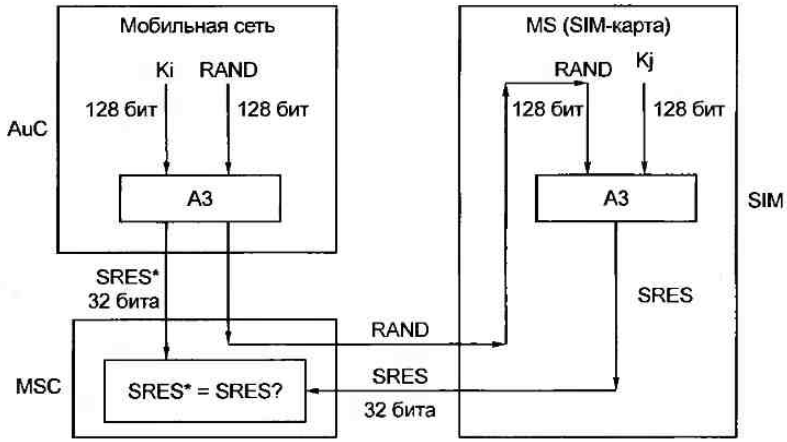


Рис. 1.14. Обеспечение аутентификации абонента и защиты информации:
Kj — индивидуальный ключ шифрования; SRES (Signed Response) — зашифрованный отклик; SRES* — SRES, вычисленный в телефонной трубке

То же самое случайное начальное число и абонентский ключ шифрования также используются, чтобы вычислить ключ шифрования, который использует алгоритм шифрования речи. Этот ключ шифрования вместе с номером кадра TDMA алгоритм использует для того, чтобы создать последовательность из 114 битов, применяя операцию «исключающее ИЛИ» к 114 битам пакета (два блока по 57 битов).

Другой уровень защиты выполняется непосредственно в MS, обеспечивая защиту оборудования от несанкционированного использования. Как упомянуто ранее, каждый терминал GSM идентифицирован уникальным международным опознавательным кодом подвижной аппаратуры IMEI. Список IMEI в сети сохраняется в регистре идентификации оборудования EIR (Equipment Identity Register), и в ответ на запрос кода IMEI к EIR терминалу возвращает-

ся одно из следующих состояний в соответствии с тем, в каком списке находится номер абонента:

белый список — терминалу позволяют соединиться с сетью;

серый список — терминал находится под наблюдением сети ввиду возможных проблем;

черный список — терминал заявлен как украденный или некорректный тип для сети GSM. Терминалу не позволяют соединиться с сетью.

Передача соединения (хэндовер)

В сотовой сети радиоресурсы и фиксированные линии связи в процессе вызова не остаются занятыми постоянно. Хэндовер (передача соединения), или хэндофф (handoff), как его называют в Северной Америке, — это переключение каналов и линий по мере перемещения подвижного объекта по различным каналам или ячейкам сотовой сети. Обнаружение и измерение уровня радиосигналов для хэндовера составляют одну из основных функций уровня управления радиоресурсами RRM (Radio Resources Management).

Хэндовер принято разделять на четыре типа, указанных соответствующими цифрами на рис. 1.15:

1. Смена каналов в пределах одной базовой станции.
2. Смена канала одной базовой станции на канал другой станции, находящейся под управлением того же BSC.
3. Переключение каналов между базовыми станциями, контролируемыми разными BSC, но одним MSC
4. Переключение каналов между базовыми станциями, за которые отвечают не только разные BSC, но и разные MSC.

В общем случае проведение хэндовера — задача MSC. Но в двух первых случаях, называемых внутренними хэндоверами, чтобы снизить нагрузку на коммутатор и служебные линии связи, процесс смены каналов управляется BSC, а MSC лишь информируется о результате.

Первые два типа передачи соединения охватывают только один контроллер базовой станции. Чтобы сохранять способность обмена сигналами, достаточно взаимодействия BSC без использования управления из центра коммутации мобильной связи (MSC). После завершения передачи соединения (хэндовера) необходимо уведомить об этом событии MSC.

Последние два типа передачи соединения называются внешними передачами соединения и обрабатываются MSC, участвующими в соединении.

Хэндовер может быть инициализирован мобильной станцией или MSC. Как указывалось, MS по широковещательному каналу управления (BCCH) проводит сканирование не менее 16 соседних сот, формируется список шести

лучших кандидатов на возможную передачу соединения, основанную на полученной напряженности поля сигналов. Эта информация передается к BSC и MSC не менее одного раза в секунду для использования алгоритмом передачи соединения.

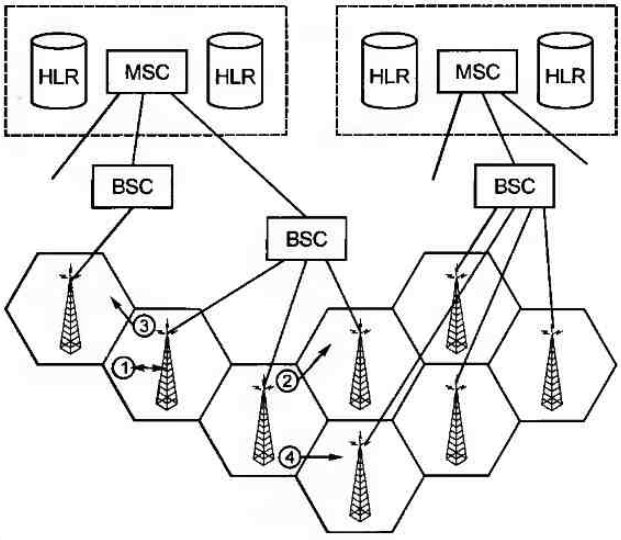


Рис. 1.15. Варианты хэндовера

Алгоритм определения момента времени, когда должно быть принято решение о передаче соединения (хэндовер), не определен в рекомендациях GSM. Есть два основных используемых алгоритма, тесно связанных с управлением мощностью. Это объясняется тем, что базовая станция обычно «не знает», является ли плохое качество сигнала следствием замирания из-за многолучевости или следствием перемещения мобильной станции к другой ячейке, что особенно часто имеет место при небольших городских ячейках.

Алгоритм «минимально допустимая характеристика» [49] отдает приоритет управлению мощностью, а не передаче соединения (хэндоверу): когда сигнал ухудшается до некоторого заданного уровня, уровень мощности мобильной станции увеличивается посредством управления. Если дальнейшие увеличение мощности не улучшает сигнал, то начинается передача соединения (хэндовер). Это — наиболее простой и наиболее общий метод, но он создает эффект «расплывчатой границы» соты, когда мобильная станция передает сигналы, используя пиковую мощность при проходе некоторого расстояния вне границы ячейки исходной соты в другую соту.

Алгоритм «бюджета мощности» [49] предоставляет приоритет хэндоверу, при этом целью является поддержание или улучшение качества сигнала при том же самом или более низком уровне мощности. При этом методе отсутствует проблема «расплывчатой границы» соты, что уменьшает межканальные помехи, но это весьма усложняет алгоритм.

Рассмотрим процесс обмена сигналами, показанный на рис. 1.16 как хэндовер 4-го типа (см. рис. 1.15) [33]. Ниже приводится его описание.

1. Когда MS включена, она периодически извещает о качестве сигналов BTS1 с помощью сообщения об измерении. Это сообщение передается в каждом SACCH (низкоскоростной совмещенный канал управления) с периодичностью 480 мсек. Сообщение об измерении содержит характеристики качества сигналов соседних ячеек.

2. Если качество сигнала хорошее, то MS не предпринимает никаких действий. Когда MS достигает границы между зонами обслуживания MSC2 и MSC1, она извещает BTS1 о том, что получила слабый сигнал.

3. BTS1 принимает решение об инициализации процесса хэндовера для того, чтобы улучшить качество обслуживания MS, и передает результаты измерений, включая измерения качества сигналов соседних ячеек BSC1.

4. BSC1 проводит анализ результатов измерения для того, чтобы определить зону обслуживания с лучшим качеством.

5. Если BSC1 решает запросить хэндовер, то он передает MSC1 номер используемой соты, список целевых сот с лучшими показателями, чем у используемой соты. При этом станция BTS2 включена в список целевых сот. На BSC1 включается таймер для того, чтобы ограничить время ожидания начала хэндовера (поступления сигнала от MCS1 о начале процесса хэндовера).

6. MCS1 передает запрос на хэндовер к MSC2. При этом из регистра MSC1 (это может быть VLR или HLR) передаются данные для маршрутизации и аутентификации. На MSC1 включается таймер для того, чтобы ограничить время ожидания начала хэндовера в зоне обслуживания MSC2 (время ответа от BSC2).

7. Запрос на передачу соединения обрабатывается на MSC2 как новый исходящий вызов, и выбирается канал для нового вызова. Новые данные записываются в VLR MSC2, который обеспечивает присвоение номера «блуждающей» подвижной станции (MSRN — Mobile Station Roaming Number). Процедурами установления подлинности во время обработки вызова управляет VLR MSC2.

8. Передается подтверждение запроса хэндовера от MSC2 (начало хэндовера) к MSC1. На MSC1 отключается таймер, ограничивающий время ожидания начала хэндовера (см. п. 6), так как получена команда о начале хэндовера. Если MSC1 был центром визита, то данные на VLR MSC1 стираются. Если

он был домашним центром, то текущий адрес VLR абонента, содержащийся в HLR, обновляется.

9. MSC1 передает BSC1 сообщение о том, что соединение закончено.

10. BSC1 освобождает канал, информирует MSC1 о том, что разъединение закончено.

11. MSC1 освобождает оборудование и передает MSC2 сигнал окончания процедуры.

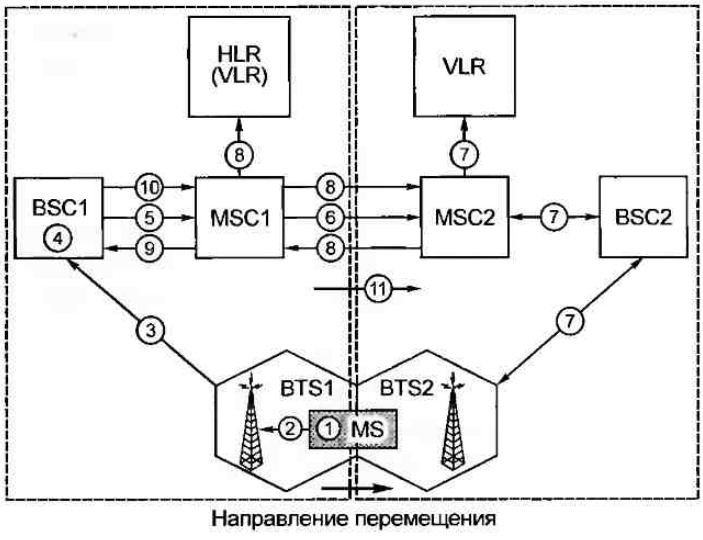


Рис. 1.16. Обмен сигналами при хэндовере

Роуминг

Роуминг — одна из самых важных функций сотовой связи. Необходимость в роуминге возникает каждый раз, когда абонент изменяет свое местоположение и перемещается в сеть, принадлежащую *другому оператору*. Роуминг бывает локальный (переезд внутри города или в пригород), национальный (в другой город или область) и международный (переезд в другую страну).

При перемещении абонента в другую сеть ее центр коммутации (MSC/VLR) запрашивает информацию в первоначальной сети (MSC/HLR) и при наличии подтверждения полномочий абонента регистрирует его. Данные о местоположении абонента постоянно обновляются в центре коммутации первоначальной сети (MSC/HLR), и все поступающие туда вызовы автоматически переадресовываются в ту сеть, где в данный момент находится абонент.

По способу регистрации различают следующие виды роуминга:
- автоматический, т.е. с возможностью провести процесс хэндовера;
- полуавтоматический, когда предварительно следует оповестить оператора о намерении посетить соответствующий регион;
- ручной, при котором абоненту вручается радиотелефон, включенный в сеть визита.

Для обеспечения роуминга необходимо выполнение следующих условий:
- наличие в требуемых регионах сотовых систем стандарта, совместимого со стандартом компании, у которой был приобретен радиотелефон;
- наличие соответствующих организационных и экономических соглашений о роуминговом обслуживании абонентов;
- наличие между системами каналов связи, обеспечивающих передачу звуковой, сигнальной и другой информации для роуминговых абонентов.

При организации роуминга недостаточно провести только технические мероприятия по соединению различных сетей сотовой связи. Очень важно еще решить проблему взаиморасчетов между операторами этих сетей.

Кроме того, для организации передачи сигнальных сообщений при автоматическом роуминге требуется создать соответствующие сигнальные каналы и программное обеспечение. Это требует определенных затрат. Поэтому между областями обслуживания различных операторов существует большая потребность в обмене информацией по обслуживанию роуминговой связи [9].

1.5. Протоколы сети GSM

1.5.1. Общая структура

Основное описание протоколов сети GSM дано в документах ETSI. Эти документы представляют собой некоторые группы, систематизированные по версиям [76–79].

Рассмотренные выше функции регистрации (registration), аутентификации (authentication), маршрутизации вызова (call routing), обновления координат местоположения, механизм передачи соединения (handover) выполняются подсистемой сети, главным образом используя протоколы сигнализации системы мобильной связи, основанные на протоколах системы ОКС–7 [1, 10, 11, 36]. Структура этих протоколов показана на рис. 1.17.

Протоколы в GSM разделены на три уровня [7, 10, 17, 49, 117] в зависимости от интерфейса, как показано на рис. 1.17.

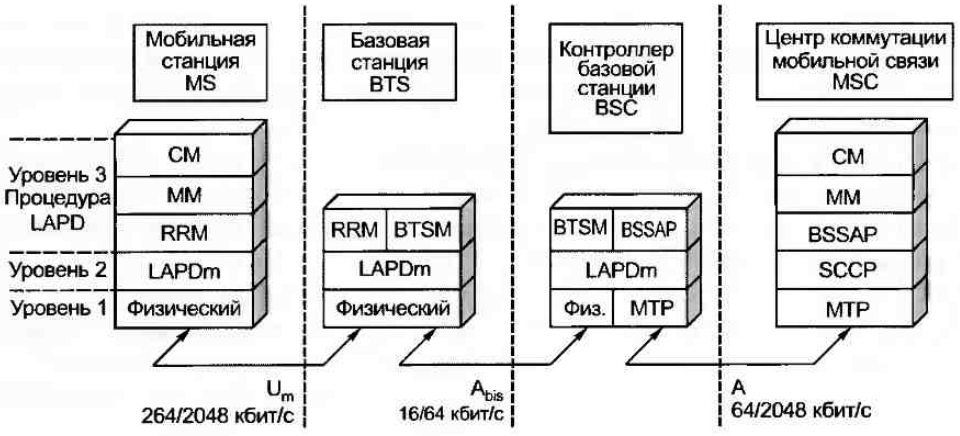


Рис. 1.17. Структура протоколов GSM

CM	Connection Management	Управление соединением
MM	Mobility Management	Управление мобильностью
RRM	Radio Resources Management	Управление радиоресурсом
LAPD	Link Access Protocol D	Процедура доступа к звену передачи данных по каналу D (m — обозначает воздушный интерфейс)
BTSM	Base Transceiver Station Management	Управление базовой приемопередающей станцией
BSSAP	BSS Application Part	Прикладная часть (подсистема) системы базовой станции
SCCP	Signaling Connection Control Part	Подсистема управления соединением каналов сигнализации
MTP	Massage Transfer Part	Подсистема передачи сообщений

Участок «мобильная станция — базовая станция» использует следующие уровни. Уровень 1 — физический уровень, который использует структуры канала, рассмотренные выше, по «воздушному интерфейсу». Уровень 2 — уровень звена передачи данных по интерфейсу U_m, уровень звена передачи данных — это модифицированная версия процедуры LAPD, применяемой в ISDN, называемая LAPDm [93, 94]. Уровень 3 — протокол, использующий также модифицированную версию LAPD, самостоятельно разделен на три следующих подслоя.

Управление радиоресурсами (RRM — Radio Resources Management) — управляет первоначальной установкой оконечных устройств, включением радио- и фиксированных каналов, их обслуживанием, а также обеспечивает процедуру хэндовера.

Управление передвижением (MM — Mobility Management) — управляет обновлением местоположения и процедурами регистрации, а также защитой и аутентификацией.

Управление соединением (CM — Connection Management) — осуществляет общий процесс управления установлением соединения и сигнализацией и управляет дополнительными услугами, а также службой передачи коротких сообщений.

При взаимодействии базовой приемопередающей станции (BTS) с контроллером базовой станции (BSC) используется интерфейс A_{bis}, который обеспечивает управление базовой приемопередающей станцией (BTSM — Base Transceiver Station Management).

Передача сигналов между различными объектами в фиксированной части сети (интерфейс A) использует следующие протоколы: на уровне 1 — MTP (Message Transfer Part — подсистема передачи сообщений); на уровне 2 — SCCP (Signaling Connection Control Part — подсистема управления соединением канала сигнализации) [1, 10, 11, 35], принадлежащий системе сигнализации ОКС–7. На уровне 3 применяют перечисленные выше протоколы GSM — MM и CM.

Подсистема третьего уровня BSSAP (BSS Application Part — прикладная часть системы базовой станции) предназначена для связи контроллера базовой станции (BSS) с центром коммутации мобильной связи (MSC). Спецификация MAP весьма сложна и изложена на более чем 500 страницах, это — один из самых длинных документов в рекомендациях GSM [78].

1.5.2. Подсистемы сигнальных протоколов

Основные сведения о подсистеме управления соединением

Для передачи сигнальных сообщений между центром коммутации мобильной связи и системой базовой станции [1, 10, 11, 17, 35] используются подсистемы MTP и SCCP, применяемые в системе ОКС–7. Рассмотрим кратко содержание подсистемы SCCP.

Подсистема управления соединением канала сигнализации SCCP (Signaling Connection Control Part) управляет логическими соединениями в сети ОКС для передачи блоков данных сигнализации. Она выполняет функции третьего уровня (сетевой уровень) модели взаимодействия протоколов ОКС [10, 11, 35, 115]. SCCP управляет передачей данных по сети ОКС при установлении соединения и при техническом обслуживании. Это управление непосредственно не связано с конкретным каналом речи или передачи данных.

Подсистема SCCP предоставляет два класса услуг: ориентированных на соединение и не ориентированных на соединение.

В первом случае перед началом обмена данными устанавливается соединение. В этом случае доставка сообщений может быть гарантирована в по-

рядке их передачи. Для ориентированных на соединения услуг различаются постоянные и кратковременные (полупостоянные) соединения для сигнализации. При этом для полупостоянных соединений предусмотрены три фазы: фаза установления соединения, фаза обмена данными и фаза освобождения соединения. При реализации услуг, не ориентированных на соединение, SCCP обеспечивает передачу данных в двух режимах: с контролем последовательности доставки сообщений и без контроля. В последнем случае не гарантируется прием данных в порядке их передачи, так как они маршрутизируются в сети сигнализации по-разному и могут быть повторно запрошены при воздействии помех.

Структура сообщения SCCP детально представлена в [1, 10, 11, 35]. Ниже приведем только часть заголовков, связанных с подвижной системой.

Примеры типов сообщений для системы, ориентированной на соединение, следующие:

– запрос на соединение между двумя узлами (CR);
– подтверждение соединения (CC) в ответ на сообщение CR;
– запрос на разъединение (RLSD);
– подтверждение разъединения (RLSC) со стороны любого из узлов;
– подтверждение разъединения (процесс освобождения завершен);
– данные для прозрачной передачи данных между двумя узлами (DT);
– разрешенная подсистема (SSA).

Последнее сообщение содержит следующие параметры рис. 1.18

Номер задействованной подсистемы	1
Код задействованного пункта сигнализации	2 3
Индикатор числа подсистем, связанных с SCCP	4

Рис. 1.18. Сообщение «разрешенная подсистема»

Само сообщение «разрешенная подсистема» имеет код 0000 0001. Кодирование поля «номер задействованной подсистемы» представлено в табл. 1.5.

Таблица 1.5. Таблица значений кодов «номер задействованной подсистемы» в SCCP

Код	Задействованная подсистема
0000 0000	Подсистема неизвестна
0000 0001	Техобслуживание SCCP
0000 0010	Зарезервированная часть для ITU -T
0000 0011	Подсистема пользователя ЦСИО (русская версия) ISUP-R
0000 0100	Подсистема эксплуатации и технического обслуживания OMAP

Продолжение таблицы 1.5

Код	Задействованная подсистема
0000 0101	Прикладная подсистема обслуживания мобильной связи MAP
0000 0110	Домашний регистр местоположения HLR
0000 0111	Визитный регистр местоположения VLR
0000 1000	Центр коммутации подвижной связи MSC
0000 1001	Регистр идентификации оборудования EIR
0000 1010	Зарезервирован
0000 1011	Дополнительные услуги ISDN
0000 1100	Услуги коротких сообщений в мобильной связи
0000 1101	Услуги широкополосной B-ISDN
0000 1110	Тестирование возможностей транзакции (TCAP)
0000 1111 ..... 0001 1111	Коды зарезервированы для международного использования
0010 0000 ..... 1111 0111	Коды зарезервированы для национальных сетей
1111 1000	Центр коммутации подвижной связи NMT (подсистема пользователя мобильной связи)
1111 1001	HLR-NMT (подсистема пользователя мобильной связи)
1111 1010	Эксплуатация и техобслуживание базовых станций
1111 1110	Прикладная часть системы базовой станции BSSAP
1111 1111	Код зарезервирован для расширения национального и международного номера подсистемы

В табл. 1.5 «жирной» линией обведены коды, относящиеся к передаче сигналов мобильных систем (необязательно к системе GSM).

Прикладная часть системы базовой станции BSSAP

Одна из пользовательских функций подсистемы управления соединением канала сигнализации SCCP (Signaling Connection Control Part) реализуется прикладной частью системы базовой станции (BSSAP — Base Station System Application Part). Она предназначена для обслуживания взаимодействия BSS и MSC (см. рис. 1.17). В случае соединения типа «точка–точка» BSSAP использует сигнальное соединение с активной мобильной станцией, имеющей один или более активизированных процессов для передачи сообщений уровня 3. При этом для прикладной системы BSSAP используется один сигнальный канал между BSS и MSC. Этот канал может использовать-

ся несколькими процессами для передачи сообщений на уровне 3. В случае конференцсвязи или широковещательного вызова кроме сигнального канала «главного абонента» могут использоваться несколько дополнительных сигнальных каналов.

Прикладная подсистема BSSAP подразделяется на две отдельные группы:

- прикладная часть для прямой передачи (DTAP — Direct Station Application Part) используется для передачи транзитных сообщений между MSC и MS. Информация уровня 3 в таких сообщениях не интерпретируется BSS;
- прикладная часть административного управления системой базовой станции (BSSMAP — Base Station System Management Application Part) поддерживает другие процедуры 3-го уровня, связанные с управлением ресурсами, управлением передачей соединения (хэндовером) в данной соте и в пределах BSS. Описание протокола BSSMAP содержится в Рекомендации ETSI GSM 08.08 [76, 79].

При применении BSSAP используются процедуры без установления соединения и ориентированные на соединение. Рекомендация ETSI GSM 08.08 указывает для каждой процедуры уровня 3 случаи, когда должно использоваться соединение или необходима работа без установления соединения. Процедуры, ориентированные на соединение, используются, чтобы поддержать процедуры прямой передачи транзитных сообщений — DTAP. Функция распределения, размещенная в BSSAP, осуществляет разделение между данными, использующими одну из этих двух частей.

Сообщения BSSAP включают поля, показанные на рис. 1.19.

Разделение (*Discrimination*). Разделяет сообщения, принадлежащие указанным выше двум подсистемам: BSSMAP и DTAP.

Идентификатор управления звеном передачи данных (*DLCI — Data Link Control Identifier*). Применяется только для DTAP. Используется в MSC для передачи сообщений к BSS, указывает на тип данных, исходящих первоначально от соединения по радиоинтерфейсу.

Длина. Параметр, указывающий длину сообщения уровня 3.



Рис. 1.19. Формат заголовка BSSAP

Формат прикладной части административного управления системой базовой станции (BSSMAP)

Эта система взаимодействует с обеими частями SCCP — ориентированными на соединение и не ориентированными на соединение.

Прикладная система управления базовой станцией поддерживает все процедуры между MSC и BSS, которые требуют интерпретации и обработки информации, связанной с обслуживанием отдельных вызовов и управлением ресурсами. Некоторые из процедур BSSMAP в конечном итоге вызываются сообщениями управления радиоресурсами RRM (Radio Resource Management), определенными в спецификациях ETSI [76, 79].

Формат сообщения протокола BSSMAP представлен на рис. 1.20.

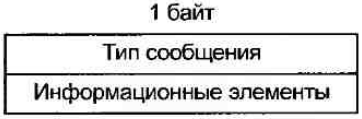


Рис. 1.20. Формат сообщений протокола BSSMAP

Тип сообщения. Обязательное поле из одного байта, определяющее тип сообщения, уникально определяет функцию и формат каждого сообщения BSSMAP.

Информационный элемент. Каждый информационный элемент кодирован единственным кодом из восьми бит (идентификатором). Длина информационного элемента может быть фиксированная или переменная и включать или не включать в себя индикатор длины.

Форматы прикладной подсистемы для прямой передачи (DTAP)

Подсистема DTAP (Direct Transfer Application Part) применяется для передачи сообщений управления соединением и управления мобильностью между MS и MSC. Сообщения прямой передачи не обрабатываются в BSS, а только преобразуются в соответствующие сигналы радиоинтерфейса и обратно. Для передачи сообщений DTAP используется формат, приведенный на рис. 1.21.

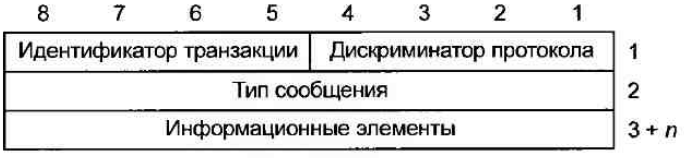


Рис. 1.21. Формат передачи сообщений DTAP

Формат идентификатора транзакции приведен на рис. 1.22.



Рис. 1.22. Формат идентификатора транзакции

Флаг указывает, какой стороной назначена транзакция. Если MS, то флаг имеет значение 0, если MSC, то 1.

Значение *идентификатора транзакции* является целым числом и назначается инициатором связи. Значение идентификатора уникально на той стороне интерфейса, которая явилась инициатором, оно не меняется в течение времени жизни транзакции и имеет смысл только в данном интерфейсе.

Поле *дискриминатор протокола* указывает тип подуровня (RM, CM, MM), к которому принадлежит сообщение.

Тип сообщения и *информационные элементы* для каждого подуровня (RM, CM, MM) приведены ниже.

1.5.3. Сигнальные протоколы третьего уровня

Управление радиоресурсами

Уровень управления радиоресурсами (RRM — Radio Resource Management) наблюдает за установлением соединения по радио- и фиксированной сети между подвижной станцией и центром коммутации подвижной связи (MSC). Главные функциональные компоненты этого уровня — подвижная станция, подсистема базовых станций, центр коммутации подвижной связи. Уровень RRM предназначен для управления радиосеансом [49, 56]. Сеанс — это время, которое мобильная станция находится в режиме соединения, управляя конфигурацией радиоканалов, включая распределение специализированных каналов.

Радиосеанс всегда инициализируется подвижной станцией с помощью процедуры доступа либо для исходящего вызова, либо в ответ на широковещательный вызов при входящем вызове. Рассмотренные выше процедуры исходящего вызова, широковещательного вызова, такие как назначение выделенного канала для сигнализации мобильной станции, определение структуры широковещательного подканала, осуществляются на уровне RRM. Кроме того, этот уровень содержит процедуры управления мощностью, прерывистой передачи и приема.

Управление мобильностью

Уровень управления мобильностью ММ относится к верхнему уровню управления радиоресурсами и выполняет функции, обусловленные передвижением абонента (изменение местоположения), а также функции защиты и аутентификации. Управление при изменении местоположения включает процедуры, которые дают возможность системе «знать» текущее местоположение включенных подвижных станций для того, чтобы управлять маршрутизацией входящих вызовов.

Управление соединением

Уровень управления соединением СМ отвечает за управление вызовом, управление дополнительными видами услуг и управление службой передачи коротких сообщений. Каждое из них можно рассматривать, как отдельный подслой в пределах уровня управления соединением. Процедура управления вызовом почти совпадает с процедурами цифровой сети ISDN, приведенными в Рекомендации Q.931, хотя маршрутизация к (от) подвижного объекта очевидно является в GSM уникальной. Другие функции подслоя управления вызовом включают: установление соединения, выбор типа обслуживания (включая чередование услуг в течение вызова) и отбой.

Форматы сообщений и состав сигналов 3-его уровня

Как уже указывалось выше, система протоколов взаимодействия на участке MS–BTS (CM, MM, RRM) является подмножеством протоколов третьего уровня. Основные положения этого протокола рассмотрены при описании протоколов сети ISDN. Ниже приведены некоторые форматы и команды, касающиеся протоколов участка MS–BTS [13, 18, 19, 33]. Содержание каждого сигнала следует из его названия. Для более детального рассмотрения этих сигналов можно рекомендовать [10, 11, 17].

Обмен сигнальной информацией уровня RRM производится в виде сообщений, каждое из которых имеет вид, представленный на рис. 1.23.

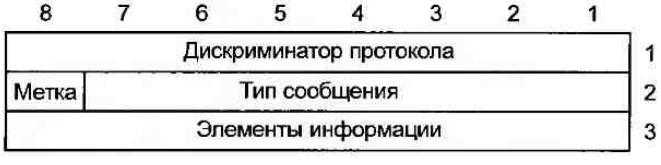


Рис. 1.23. Вид сообщения уровня RRM

Сообщение содержит следующие области: дискриминатор протокола, метка соединения и тип сообщения. Метка устанавливается в 0 на вызывающей стороне стыка и в 1 на стороне назначения.

Дискриминатор протокола служит для того, чтобы отделить процедуры управления вызовом от любых других сообщений, а также отделить сообщения, передаваемые в системе ISDN, от сообщений других систем, в частности, GSM. Дискриминатор протокола кодируется в соответствии с табл. 1.6 [17, 39].

Таблица 1.6. Кодировка дискриминатора протокола

Коды и порядок следования бит								Дискриминатор протокола
8	7	6	5	4	3	2	1	
0	0	0	0	0	0	0	0	Сообщения по протоколу «пользователь–пользователь»
…								
0	0	0	0	0	1	1	1	
0	0	0	0	1	0	0	0	Сообщения управления вызовом по Рекомендации I.451 (включая сообщение CM, отмеченное жирным шрифтом)
…								
0	**0**	**1**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	
…								
0	0	1	1	1	1	1	1	
0	1	0	1	0	0	0	0	Сообщения MM
…								
0	1	1	0	0	0	0	0	Сообщения RRM
…								
0	1	1	1	0	0	0	0	Сообщения CM
…								
0	0	1	0	0	0	0	0	Резерв для других сетевых протоколов 3-го уровня
…								
0	0	1	1	1	1	1	1	
0	1	0	1	0	0	0	0	Для национального использования
…								
0	1	0	0	1	1	1	1	
0	1	0	1	0	0	0	0	Резерв для других сетевых протоколов 3-го уровня
…								
1	1	1	1	1	1	1	1	

Из других полей формата сообщений уровня 3 в протоколах GSM используется поле «тип сообщения». В табл. 1.7–1.9 приведены значения, которые применяются на уровнях CM, MM, RRM. Заглавные буквы в английском значении терминов обозначают буквы, входящие в сокращенное обозначение сообщений.

Таблица 1.7. Типы сообщений 3-го уровня протокола CM на участке MS-BTS (*Дискриминатор протокола* — значение 00110000)

x000	0x00	Переход к национальным типам сообщений
x000	xxxx	**Сообщения об организации соединения**
	0001	Оповещение (ALERting)
	1000	Вызов завершен (CALL COMplete)
	0010	Вызов обслуживается (CALL PROCeeding)
	0111	Соединить (CONnect)
	1111	Подтверждение соединения (CONnect ACKnowledge)
	1110	Аварийный вызов (EMERGence SETUP)
	0011	Вызов (SETUP)
x001	xxxx	**Сообщения информационной фазы соединений**
	0111	Модификация (MODify)
	1111	Модификация закончена (MODify COMplete)
	0011	Отказ в модификации (MODify REJect)
	0000	Информация пользователя (USER INFormation)
	1000	Удержание (HOLD)
	1001	Подтверждение удержания (HOLD ACKnowledge)
	1010	Отказ от удержания (HOLD REJect)
	1100	Возобновление (RETRieve)
	1101	Подтверждение возобновления (RETRieve ACKnowledge)
	1110	Отказ от возобновления (RETRieve REJect)
x010	xxxx	**Сообщения разъединения**
	0101	Разъединение (DISConnect)
	1100	Освобождение (RELease)
	1101	Освобождение закончено (RELease COMplete)
x011	xxxx	**Прочие сообщения**
	1001	Управление перегрузкой (CONGestion Control)
	1100	Извещение (NOTIFY)
	1101	Статус (STATUS)
	0100	Запрос статуса (STATUS ENQuiry)
	0101	Начало частотного набора (START DTMF)
	0001	Остановка частотного набора (STOP DTMF)
	0010	Подтверждение остановки частотного набора
	0110	Подтверждение начала частотного набора (STOP DTMF ACKnowledge)
	1110	Отмена начала частотного набора (START DTMF ACKnowledge)
	1010	Обращение к дополнительным услугам (FACILITY)

Таблица 1.8. Типы сообщений 3-го уровня протокола MM на участке MS-BTS (*Дискриминатор протокола* — значение 01010000)

x000	xxxx	**Регистрационные сообщения**
	0001	Выделен индикатор IMSI (IMSI DETuch INDicator)
	0010	Изменение местоположения принято (LOCation UPDate ACCept)
	0100	Изменение местоположения отклонено (LOCation UPDate REJect)
	1000	Запрос на изменение местоположения (LOCation UPDate REQuest)
x001	xxxx	**Сообщения аутентификации и определения подлинности оборудования**
	0001	Аутентификация отклонена (AUTHentication REJect)
	0010	Запрос на аутентификацию (AUTHentication REQuest)
	0100	Ответ на аутентификацию (AUTHentication RESponse)
	1000	Запрос на идентификацию (IDENtification REQuest)
	1001	Ответ на идентификацию (IDENtification RESponse)
	1010	Команда на изменение TMSI (TMSI REALLOCation CoMmanD)
	1011	Изменение TMSI закончено (TMSI REALLOCation COMplete)
x010	xxxx	**Сообщения управления соединением**
	0001	Услуги CM приняты (CM SERVice ACCept)
	0010	Услуги CM отклонены (CM SERVice REJ ect)
	0011	Услуги CM прерваны (CM SERVice ABORT)
	0100	Запрос услуг CM (CM SERVice REQuest)
	1000	Изменение услуг CM (CM SERVice REESTABlishment)
	1001	Прерывание (ABORT)
x011	xxxx	**Различные сигналы**
	0100	Состояние MM (MM STATUS)

Таблица 1.9. Типы сообщений 3-го уровня протокола RRM на участке MS-BTS (*Дискриминатор протокола* — значение 01100000)

x0111	xxx	**Сообщения организации каналов**
	011	Дополнительное распределение (ADDitional ASSignment)
	111	Непосредственное распределение (IMMediate ASSignment)
	001	Непосредственное расширенное распределение (IMMdiate ASSignment EXTended)
	010	Непосредственное распределение отклонено (IMMediate ASSignment REJect)
x0110	xxx	**Сообщения о шифровании**
	101	Команда режима шифрования (Ciphering MODE CoMmanD)
	010	Режим шифрования закончен (Ciphering MODE COMplete)

Продолжение таблицы 1.9

x0101	xxx	**Сообщения передачи**
	110	Команда распределения (ASSignment CoMmanD)
	001	Распределение закончено (ASSignment COMplete)
	111	Ошибка распределения (ASSignment FAILure)
	011	Команда хэндовера (HANDover CoMmanD)
	100	Хэндовер закончен (HANDover COMplete)
	000	Ошибка хэндовера (HANDover FAILure)
	101	Физическая информация (PHYSical INFormation)
x0001	xxx	**Сообщения освобождения каналов**
	101	Освобождение канала (CHANnel RELease)
	010	Частичное освобождение (PARTial RELease)
	111	Частичное освобождение закончено (PARTial RELease COMplete)
x0100	xxx	**Широковещательные сообщения**
	001	Запрос типа 1 (PAGING REQuest 1)
	010	Запрос типа 2 (PAGING REQuest 2)
	100	Запрос типа 3 (PAGING REQuest 3)
	111	Ответ на сообщения (PAGing RESpons 1)
x0011	xxx	**Системные сообщения**
x0000	xxx	**Системные информационные сообщения**
x0010	xxx	**Различные сообщения**
	000	Модификация режима канала (CHANnel MODE MODify)
	010	Статус RR (RR STAUS)
	111	Подтверждение модификации режима канала (CHANnel MODE MODify ACKnowledge)
	100	Перераспределение частот (FREQuency REDEFinition)
	101	Отчет об измерении (MEASurement REPort)
	110	Изменение набора услуг (CLASSMARK CHANGE)
	011	Запрос набора услуг (CLASSMARK ENQuiry)

BTSM — протокол взаимодействия контроллера базовой станции и базовой приемопередающей станции

BTSM представляет собой протокол взаимодействия BSC–BTS (Base Station Controller — Base Transceiver Station) или интерфейс A_{bis}.

Сообщения передаются в формате, представленном на рис. 1.23. Поле «тип сообщения» состоит при этом из двух байт (используется бит расширения). В первом байте передается дискриминатор сообщения, во втором — тип сообщения.

Дискриминатор протокола. Используется один из кодов табл. 1.6 в разделе «сообщения управления вызовом» (0011xxxx).

Дискриминатор сообщения (табл. 1.10). Одно байтовое поле, указывающее на тип обработки поступающих сообщений:

– *Radio Link Layer Management* — сигналы управления радиоканалом;
– *Dedicated Channel Management* — управление выделенным каналом;
– *Common Channel Management* — управление общим каналом;
– *TRX Management* — управление приемопередатчиком.

Первый бит используется для указания прозрачности (transparent). Для указания типа обработки используются 7 последующих битов октета.

Таблица 1.10. Дискриминатор сообщений 3-го уровня протокола BTSM на участке BSC-BTS

0000000	Зарезервировано
0000001	Сигналы управления радиоканалом
0000100	Управление выделенным каналом
0000110	Управление общим каналом
000100x	Управление приемопередатчиком

Остальные коды зарезервированы на будущее.

Тип сообщения. Представляет собой сообщение, старший бит которого отведен для возможности расширения сообщения, а остальные предназначены для кодирования типа сообщения, отображающего его функции. Коды типа сообщений приведены в табл. 1.11.

Назначение рассматриваемых команд легко устанавливается из их названия, поэтому, не останавливаясь на описании, приведем пример их использования при установлении соединения от станции ISDN к мобильной станции.

Этот пример был предварительно рассмотрен для участка MS-BTS (см. рис. 1.9). В данном случае приведены конкретные команды и сигналы на других участках. На рис. 1.24 сообщения на участке MS-BTS совпадают с указанными на рис. 1.9, но в начале каждой команды указан уровень протокола, которому принадлежат сообщения (RRM (RR), MM, CM). По коду сигнала можно определить, к какому классу принадлежит сообщение (например, сообщения организации соединения, сообщения информационной фазы соединений, сообщения разъединения).

К рис. 1.24 дадим некоторые дополнительные комментарии. При его описании используются следующие команды системы ISDN:

– IAM (Initial address) — начальное сообщение;
– ACM (Address complete) — абонент определен;
– ANM (Answer) — ответ абонента.

Таблица 1.11. Коды типа сообщений протокола BTSM

0001xxxx	**Сообщения управления радиоканалом**	
0001	DATE REQuest	Запрос данных
0010	DATE INDication	Индикация данных
0011	EROR INDication	Индикация ошибки
0100	ESTablish REQuest	Запрос на установление соединения
0101	ESTablish CONfirm	Установление соединения закончено
0110	ESTablish INDication	Индикация установления соединения
0111	RF CHANnel RELease REQuest	Запрос на освобождение радиоканала
1000	RF CHANnel RELease CONfirm	Освобождение радиоканала закончено
1001	RELease INDication	Индикация освобождения
1010	UNIT DATA REQuest	Запрос блока данных
1011	UNIT DATA INDication	Индикация блока данных
0110xxxx	**Сообщения управления общим каналом и приемопередатчиком**	
0001	BSSCH INFOrmation	Информация BSSCH
0010	CCCH LOAD INDication	Индикация загрузки CCCH
0011	CHANnel ReQuireD	Запрошен канал
0100	DELETE INDication	Удаление индикации
0101	PAGGING CoManD	Широковещательная команда
0110	IMMidiate ASSignee CoMmanD	Команда срочного назначения
0111	SMS Broadcast REQuest	Запрос широковещательного SMS
1000		Зарезервировано
1001	RF ReSourse INDication	Индикация радиочастотного ресурса
1010	SACCH FILing	Заполнение SACCH
1011	OVERLOAD	Перезагрузка
1100	EROR REPORT	Отчет об ошибках
1101	SMS Broadcast CoManD	Команда широковещательного SMS
1110	BSCCH LOAD INDication	Индикация загрузки BSCCH
1111	NOTification CoManD	Команда извещения
000xxxxx	**Сообщения управления выделенными каналами**	
00001	CHANnel ACTivation	Активизация канала
00010	CHANnel ACTivation ACKnowledge	Подтверждение активизации канала
00011	CHANnel ACTivation Negative ACKnowledge	Отрицательное подтверждение активизации канала
00100	CONNection FAILure	Ошибка подключения
00101	DEACTivation SACCH	Деактивизация SACCH
00110	ENCRyption CoMmanD	Команда шифрования
00111	HANDover DETECTion	Определение хэндовера
01000	MEASurement RESult	Результат измерений
01001	MODE MODify REQuest	Запрос модификации режима
01010	MODE MODify ACKnowledge	Подтверждение молификации режима

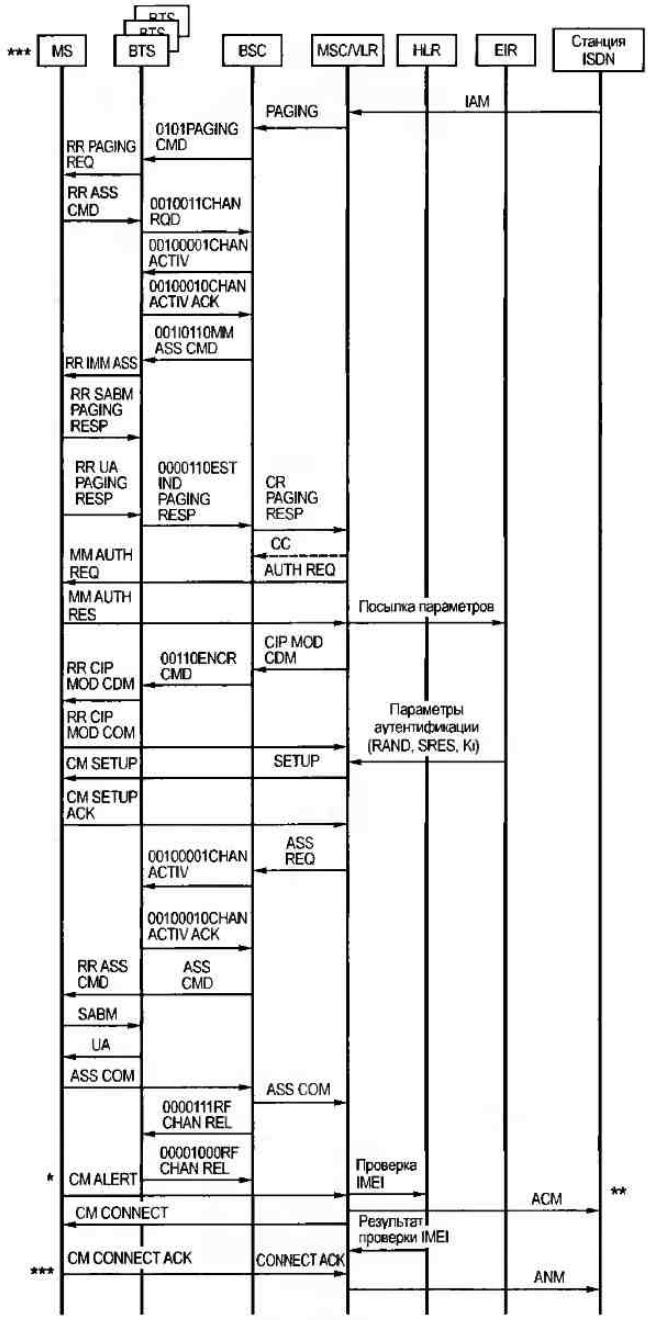


Рис. 1.24. Команды обмена при установлении связи станция ISDN–MS

Команда SABM (Set Asynchronous Balanced Mode) — *установить сбалансированный асинхронный режим*, используется в процедуре LAPD для установления по сети режима, предшествующего входу в синхронизм, для передачи в этом режиме команд управления. При этом отсутствует механизм защиты от ошибок (сообщение не нумеровано). На диаграмме эта команда используется для того, чтобы указать, что обмен идет в асинхронном режиме.

Команда UA (Unnumbered Acknowledge) — ненумерованное подтверждение, используется для подтверждения сигналов в асинхронном режиме.

На рис. 1.24 отмечены символами:

* фаза посылки вызова;

** контроль посылки вызова;

*** ответ абонента.

Следует также обратить внимание на то, что многие сигналы идут транзитом через BTS и BSC. Эти сигналы в дискриминаторе сообщений содержат тип обработки *Transparent* (прозрачный режим).

На рис. 1.25 показан обмен сигналами для случая — отбой от MS без задержки отбоя со стороны абонента.

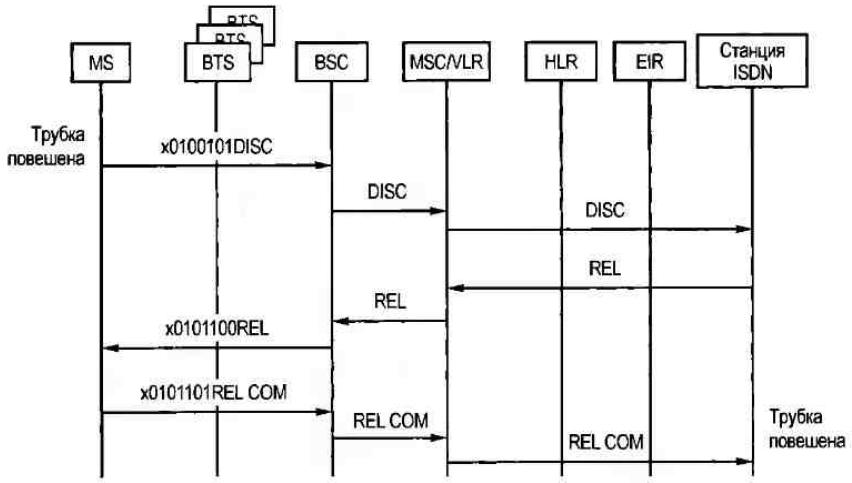


Рис. 1.25. Обмен сигналами при одном из вариантов отбоя (разъединения)

1.6. Частотный план в стандарте GSM

На рис. 1.26 показан принцип образования каналов в системе GSM [32, 36, 49, 115].

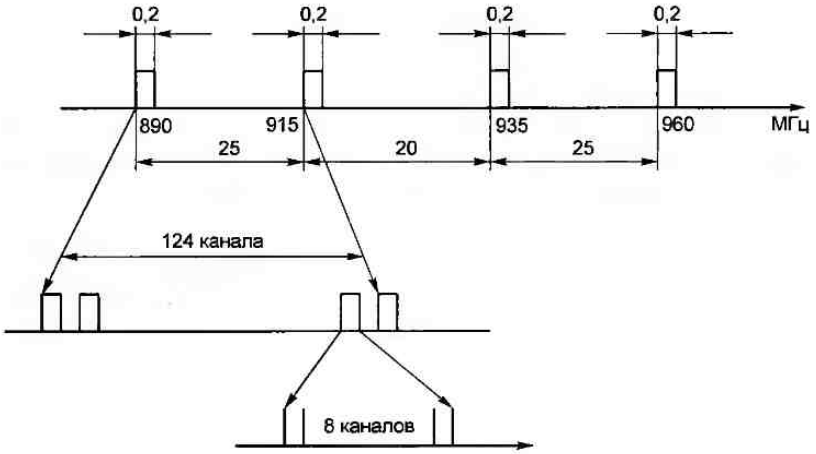


Рис. 1.26. Образование каналов в системе GSM

Для радиодоступа в GSM-900 выделены две полосы частот:

- 890–915 МГц — для канала связи от абонента к станции (направление от MS к BS);
- 935–960 МГц — для исходящего канала от станции к абоненту (направление от BS к MS).

Полосы по 25 МГц разделены на 124 пары каналов, которые работают в дуплексном режиме с интервалом несущей частоты 200 кГц, используя многостанционный доступ с частотным разделением каналов (FDMA — Frequency Division Multiple Access). Каждый радиоканал с шириной полосы 200 кГц разделен на временны́е слоты, которые создают 8 логических каналов. При этом используется многостанционный доступ с временным разделением (TDMA — Time Devision Multiple Access). Напомним, что многостанционный доступ заключается в том, что группа пользователей имеет возможность использовать одну несущую частоту в разные моменты времени.

Канал, переносящий информацию (канал трафика или логический канал), определяется номером несущей частоты и номером одного из 8 временны́х положений. Информация переносится в виде коротких пакетов (burst), объединенных в кадры.

Многостанционный доступ с временным разделением, использующий 8 слотов и 248 физических полудуплексных каналов, составляет группу из 1984 полудуплексных каналов. При размере кластера 7 (см. 1.4.4) число полудуплексных каналов в одной соте равно примерно 283 (1984/7). Как было показано ранее, разбиения, содержащего семь наборов частот, достаточно, чтобы охватить произвольно большую область, используя повторное использование частот с учетом допустимого расстояния между сотами.

1.7. Структура кадров в стандарте GSM

1.7.1. Структура кадров трафика

Каналы трафика (TCH) используются для доставки данных и речи. Структура образования кадров трафика показана на рис. 1.27 [33, 36, 49, 115].

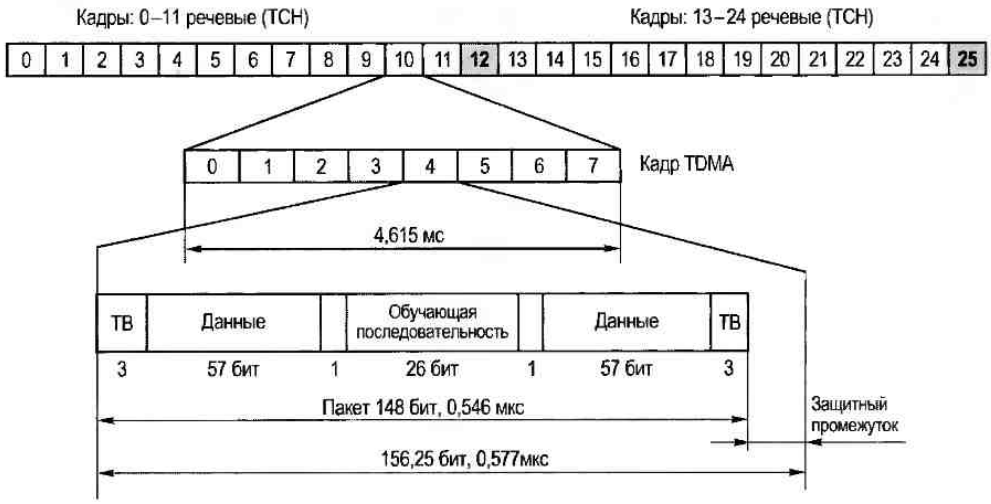


Рис. 1.27. Структура кадров трафика радиодоступа системы GSM

Мультикадр трафика содержит 26 кадров TDMA, каждый из которых состоит из 8 пакетов (burst*) трафика. Длительность мультикадра — 120 мс. Поэтому длительность кадров — 120 мс/26 = 4,615 мс, а длительность временного положения (слота) трафика равна 120/(26×8) = 0,577 мкс. Из 26 кадров 24 используются для трафика, один (12-й кадр) используется как низкоскоростной выделенный канал управления (SACCH — Slow Associated Control Channel) и один (25-й) в настоящее время не используется.

Пакет содержит:

– два поля данных по 57 бит, т.е. в одном пакете содержится 114 бит;
– поле обучающей последовательности. Эта последовательность используется для оценки характеристик радиоканала. Она представляет собой набор заранее заданных знаков, по искажению которых определяют качество радиоканала;

---

* Термин burst употребляется в соответствии со словарем Л.М. Невдяева [22]. В литературе встречается термины «пачка», «всплеск».

– «хвостовые биты» TB (tail bits), располагающиеся по краям одного блока и указывающие его границы. Они защищают информацию при сдвиге слота;
– однобитовые поля, представляющие собой флажки, которые определяют тип информации.

Пакет может использоваться как *для передачи трафика*, так и *для передачи кадров управления*. Кадры сигнализации рассмотрены далее.

ТСН прямого и обратного направления разделены во времени на 3 периода передачи пакета. Поэтому мобильная станция не может одновременно получать и принимать информацию по одному и тому же каналу, что упрощает схемную часть.

Данные передаются в пакетах, которые помещены в слоты. Общее число битов в мультикадре трафика равно 156,25×8×26 = 32500 битов. Эти биты передаются за время 120 мсек. Поэтому скорость передачи информации — 270,833 кбит/с (32500/0,12 = 270833 бит/с) Время передачи одного бита — 3,69 мкс. Чтобы нейтрализовать влияние ошибок в настройке времени, пакет данных должен быть немного короче чем временной интервал. Он составляет для одного пакета 148 из 156,25 битов, передаваемых в пределах слота.

В дополнение к каналам ТНС с *полной скоростью* могут применяться каналы ТНС с *полускоростью*. Последние фактически могут удвоить емкость системы, так как в них предусматривается кодирование речи со скоростью 11,4 кбит/с вместо 22,8 кбит/с. Полускоростные ТНС также используются для передачи сигналов управления. В рекомендациях они названы *автономными выделенными каналами управления* (SDCCH — Stand-alone Dedicated Control Channels) [81].

Использование полускоростного кодирования увеличивает число слотов до шестнадцати. При этом в четных кадрах мультикадра содержится информация слотов 0…7, а в нечетных — 8…15.

1.7.2. Структура кадров управления

Кадры управления уже рассматривались выше. Структура этих кадров и мультикадров показана на рис. 1.28. Мультикадр состоит из 51 кадра TDMA, каждый из которых содержит 8 слотов.

Содержание слотов управления и защитный интервал зависят от их назначения и представлены на рис. 1.29.

Слот подстройки частоты (*FB — Frequency correction Burst*) предназначен для синхронизации частот мобильной станции. Для передачи этих слотов выделяется канал *подстройки частоты* (*FCCH — Frequency Correction Channel*).

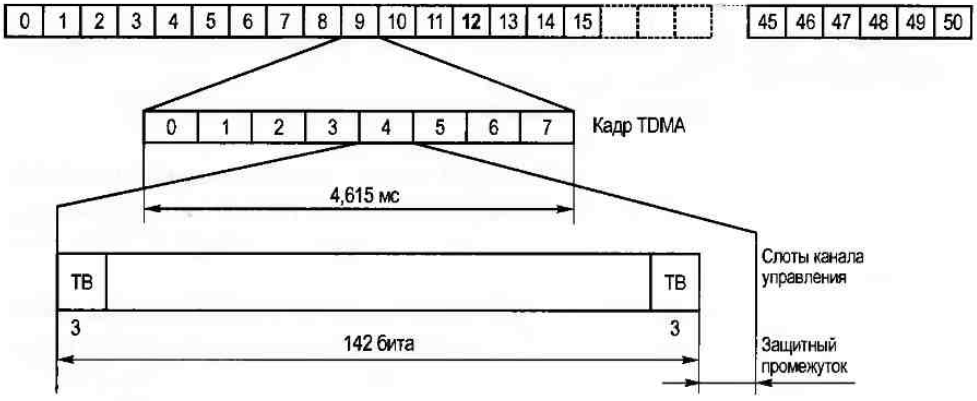


Рис. 1.28. Структура кадров управления



Рис. 1.29. Структуры слотов управления

Слот синхронизации (*SCH — Synchronization Burst*) предназначен для синхронизации по времени базовой и мобильной станций. Слот содержит синхропоследовательность (64 бита), зашифрованную информацию о номере кадра TDMA и коде идентификации базовой станции (два блока по 39 битов каждый). Для передачи этих слотов выделяется отдельный *канал синхронизации* (*SCH — Synchronizing Channel*).

Пустой слот (*DB — Dummy Burst*) — это вспомогательный пакет, содержит два поля по 58 битов, не несущих информации. Такой пакет передается с целью оповещения о том, что станция находится в работоспособном состоянии.

Слот доступа (*AB — Access Burst*) предназначен для разрешения доступа MS к BSS, передается по *каналу произвольного доступа* (*RACH* — Random Access Channel). Этот слот используется в качестве первого запроса, когда станции еще не вошли в синхронный режим и неизвестно время прохождения сигнала. Он содержит концевую комбинацию ТВ (в данном случае она содержит 8 бит), последовательность синхронизации для базовой станции — 41 бит, что позволяет базовой станции начать процесс синхронизации и обеспечить правильный прием последующих 36 битов. Большой защитный интервал (68,25 бита длительностью 252 мкс) обеспечивает максимальное время для защиты кадров от эффекта межсимвольного искажения.

Слоты имеют одинаковую длину 156,25 бита и длительность 235 мкс. Все слоты кроме слота доступа имеют три концевых бита и защитный интервал — 8,25 бита.

На рис. 1.30 показано объединение кадров управления и трафика в единый поток. Суперкадр состоит либо из 26 мультикадров канала управления, либо из 51 мультикадра канала трафика. Всего суперкадр содержит 1326 кадров и имеет длительность 6,12 с.



Рис. 1.30. Объединение мультикадров трафика и управления в единый поток

1.7.3. Организация физических каналов

Для передачи быстродействующего совмещенного канала управления (FACCH — Fast Associated Control Channel) и низкоскоростного совмещенного канала управления (SACCH — Slow Associated Control Channel) используются каналы трафика. Как уже говорилось и показано на рис. 1.30, пакет трафика может использоваться как для передачи трафика, так и для передачи кадров управления, для чего используются однобитовые флажки, которые указывают тип информации.

Как указывалось, из 26 кадров 24 используются для трафика, один (12-й кадр) используется как низкоскоростной канал управления SACCH. Один (25-й) в настоящее время не используется, но при полускоростном режиме он может использоваться для организации второго канала SACCH. Для передачи в 12-ом кадре могут использоваться 8 слотов.

Поскольку один канал SACCH при полноскоростном режиме занимает один слот с информационным полем 114 бит (см. рис. 1.27), а время передачи 0,12 с, то скорость передачи по этому каналу 114/0,12 = 950 бит/с.

Слоты канала FACCH передаются со скоростью слота трафика.

Остальные каналы управления передаются в мультикадре управления (см. рис. 1.28), содержащем 51 кадр. Организация каналов управления [13, 29] в таком мультикадре показана на рис. 1.31.

Широковещательный канал управления BCCH или общий канал управления CCCH могут использоваться всеми абонентами, находящимися в данной соте.

При передаче в направлении от сети к MS весь мультикадр разбивается на 5 групп, по 10 кадров в каждой. Каждая группа начинается кадром канала подстройки частоты FCCH, за которым следует кадр канала синхронизации SCH. Остальные 8 кадров разделяются на два блока по 4 кадра. Первая группа первого блока предназначена для передачи BCCH. Второй блок этой группы и остальные 8 блоков (всего 9 блоков), принадлежащие другим группам, предназначены для передачи кадров CCCH, а именно, входящих в него широковещательного канала коротких сообщений PCH (канал вызова) и канала предоставления доступа AGCH. Эти блоки называются блоками передачи каналов вызова. Таким образом, в рассматриваемом случае используются 4 кадра для передачи BCCH, 5 кадров — для передачи FCCH, 5 кадров — для SCH и 36 кадров (9 блоков вызова) — для AGCH, либо PCH

Линия от MS к сети используется только для передачи кадров канала с произвольным доступом RACH.

В табл. 1.12 сведены итоговые сведения по организации каналов управления.

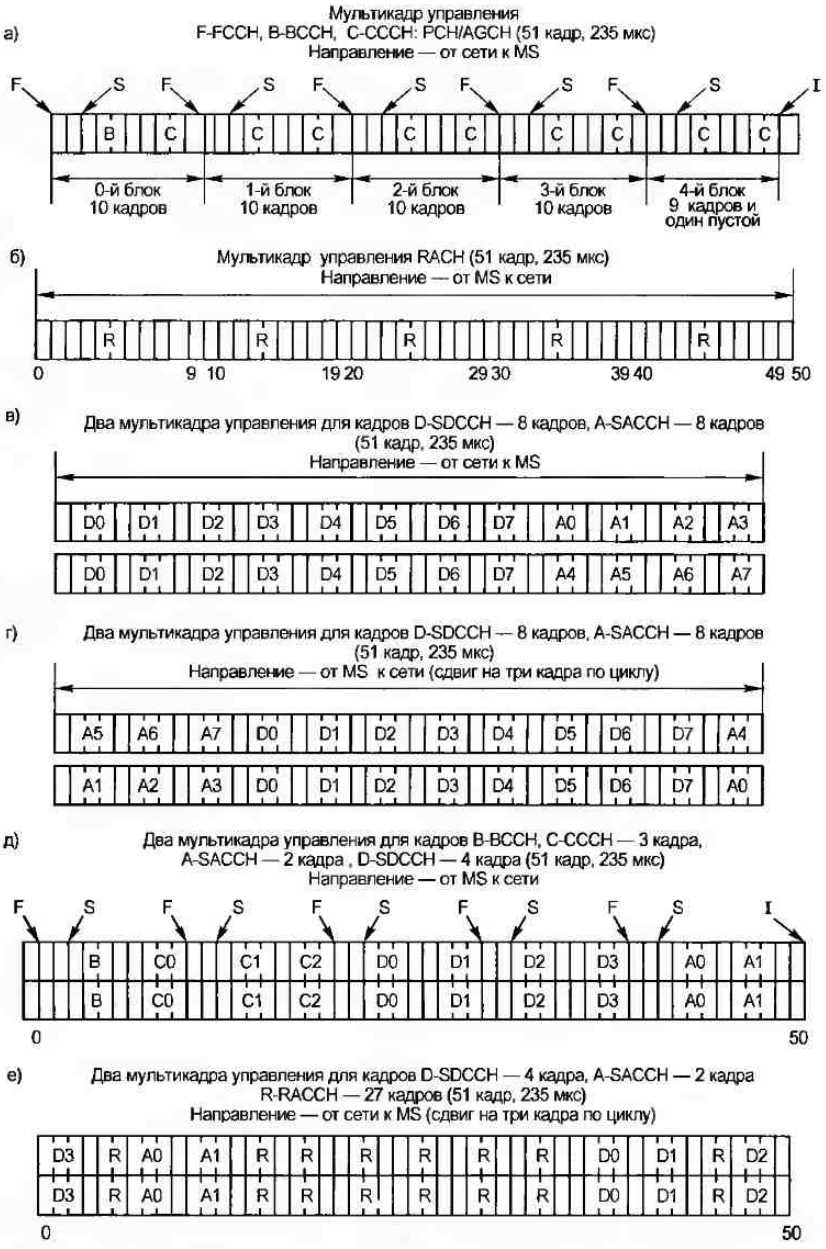


Рис. 1.31. Организация мультикадра управления:
A — каналы SACCH; B — каналы BCCH; C — каналы CCCH; D — каналы SDCCH;
F — каналы FCCH; R — каналы RACCH; S — каналы SSCH

Таблица 1.12. Организация каналов управления

Каналы управления CCH	Широковещательные каналы управления BCCH	FCCH	от сети к MS	Каналы подстройки несущей частоты	Передаются в речевом канале
		SCH	от сети к MS	Канал синхронизации	
		BCCH	от сети к MS	Широковещательный канал управления	Передаются в мультикадре управления
	Общие каналы управления CCCH	PCH	от сети к MS	Канал вызова	
		AGCH	от сети к MS	Канал предоставления доступа	
		RACH	от MS к сети	Канал с произвольным доступом	Передаются в мультикадре управления
	Выделенные каналы управления DCCH	SDCCH/4	дуплекс	Автономный выделенный канал управления на 4 подканала	Передаются в мультикадре управления
		SDCCH/8	дуплекс	Автономный выделенный канал управления на 8 подканалов	
	Совмещенные каналы управления ACCH	FACCH	дуплекс	Быстродействующий совмещенный канал управления	
		SACCH	дуплекс	Низкоскоростной совмещенный канал управления	

Примечание. Форматы, приведенные на рис. 1.31, *д* и 1.31, *е*, применяются в случае небольшой загрузки каналов управления и не указаны в таблице.

1.8. Преобразование речи

Рис. 1.32 отражает последовательность действий при преобразовании речи в радиосигнал и обратном преобразовании.

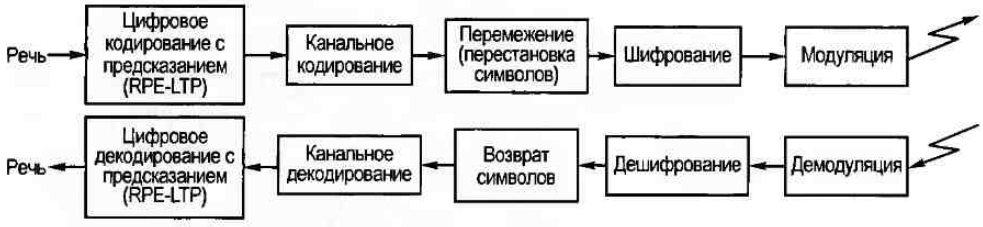


Рис. 1.32. Последовательность действий при преобразовании речи в радиоволны и обратном преобразовании

1.8.1. Речевое кодирование

На основании субъективных показателей качества речи и сложности реализации (которая связана со стоимостью, задержкой обработки и потребляемой мощностью) в GSM выбрано кодирование с линейным предсказанием с возбуждением регулярной импульсной последовательностью (RPE–LPC, Regular Pulse Excitation – Linear Predictive Coding). В основу этого метода положен принцип предсказания, когда информация от предыдущих временных отсчетов используется, чтобы предсказать текущий временной отсчет*. Коэффициенты линейной комбинации предыдущих временных отсчетов, плюс закодированная форма остаточных, разность между предсказанным и фактическим временным отсчетом представляют собой сигнал. Для восстановления сигнала на приеме используются коэффициенты предсказания, линейная комбинация предыдущих временных отсчетов, закодированные значения разности между предсказанным и фактическим временным отсчетом.

Временные отсчеты речевого аналогового сигнала осуществляются с интервалом 20 мс. Каждый отсчет закодирован 260 битами, что определяет полную скорость передачи информации 13 кбит/с. Это — так называемое кодирование речи на полной скорости (full rate). В [3] рассмотрены принципы реализации кодеров с линейным предсказанием.

В настоящее время в системе GSM используются усовершенствованные кодеры. Обобщенная блок-схема такого кодера приведена на рис. 1.33. Она отличается наличием двух устройств: медленного анализатора (синтезатора) и быстрого, улучшающих систему предсказания [30, 36].

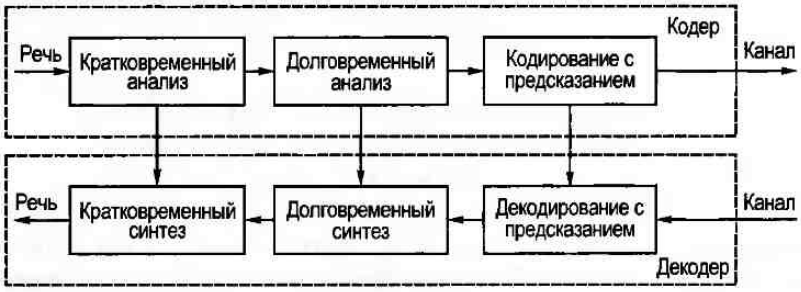


Рис. 1.33. Обобщенная блок-схема кодера

Некоторыми североамериканскими операторами в системе GSM-1900 был реализован алгоритм преобразования речи «усовершенствованная полная

* Временной отсчет — значение сигнала, измеренное в заданный момент времени, в частности, дискретное значение сигнала на выходе аналого-цифрового преобразователя.

скорость» (EFR — Enhanced Full-Rate). Он обеспечивает улучшенное речевое качество, используя существующую скорость 13 кбит/с [70, 85].

1.8.2. Канальное кодирование и модуляция

Из-за влияния естественных или искусственных электромагнитных помех закодированная речь или данные, передаваемые по радиоинтерфейсу, должны быть защищены от ошибок. Стандарт GSM использует сверточное кодирование (convolution encoding) и чередование блоков (block interleaving) [8, 25]. Конкретные алгоритмы отличаются для речи и для различных скоростей передачи данных. Метод, используемый для речевых блоков, описан ниже.

Рассмотрим речевой кодер-декодер, который формирует блок длиной 260 битов для каждых 20 временных отсчетов речи каждые 20 мс (рис. 1.34).

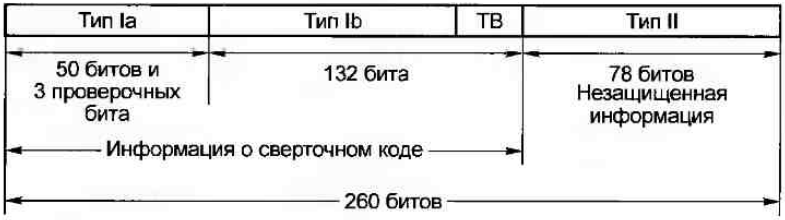


Рис. 1.34. Один отсчет речевого сигнала

Субъективные испытания показали, что некоторые биты этого блока были более важны для качества речевого восприятия, чем другие. Поэтому биты разделены на три класса:

– *Класс Ia* — 50 битов наиболее чувствительные к ошибкам;
– *Класс Ib* — 132 бита умеренно чувствительные к ошибкам;
– *Класс II* — 78 битов наименее чувствительные к ошибкам.

К классу Ia добавлен циклический избыточный код (3 бита) для обнаружения ошибок. Если ошибка обнаружена, кадр оценивается как «значительно поврежденный» и удаляется. Он может быть заменен несколько укороченной версией предыдущего правильно полученного кадра. Эти 53 бита вместе с 132 битами класса Ib и концевой последовательностью ТВ длиной 4 бита составляют в сумме 189 битов.

Напомним, что сверточное кодирование (convolution coding) [6, 22] — это метод передачи с исправлением ошибок, при котором каждое поле входной последовательности длиной K преобразуется в канальный поток данных длиной n. Величина K — называется длиной кодового ограничения (constrain

length). Она указывает длину регистра сдвига, запоминающего поле входного потока. Каждый бит выходной последовательности получается путем комбинирования бита исходной последовательности и бита, получаемого как результат суммирования по модулю 2 нескольких последовательно передаваемых символов входной последовательности (рис. 1.35). Отношение длины исходной информационной последовательности к длине кодированной последовательности называется скоростью кодирования (code rate) и обозначается r. На рис. 1.35 показан принцип сверточного кодирования при $K = 3$ и $r = 1/2$, при этом выполняется следующая последовательность действий:

Бит исходной последовательности 0
$0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$ } 01

Бит исходной последовательности 1
$1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$ } 10

Бит исходной последовательности 0
$0 \oplus 1 \oplus 1 = 0$ } 00

Бит исходной последовательности 1
$1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$ } 10

Бит исходной последовательности 1
$1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$ } 11

Бит исходной последовательности 0
$0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$ } 01

Бит исходной последовательности 0
$0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$ } 01.

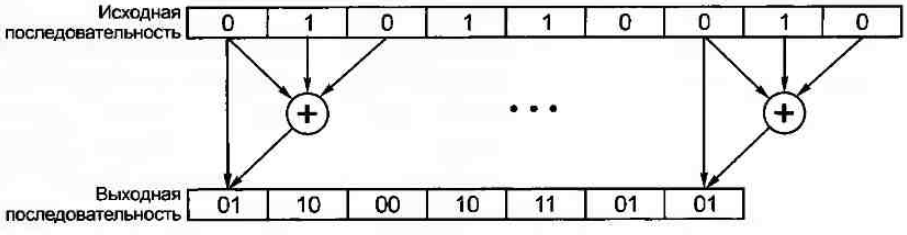


Рис. 1.35. Пример последовательностей данных для сверточного кодирования с параметрами: длина ограничения кода $K = 3$ и скорость кодирования $r = 1/2$

В стандарте GSM используется сверточный кодер с кодовым ограничением $K = 5$. Каждый входной бит закодирован двумя битами выходного потока ($r = 1/2$), базируясь на комбинации предыдущих 5 входных битов. Таким образом, сверточный кодер передает на выход 378 битов, к которым добавляются 78 остающихся битов класса II, не защищенные помехоустойчивым кодированием. Таким образом, 20-миллисекундные временные отсчеты речи закодированы в виде 456 битов (рис. 1.36) и требуют скорости передачи информации 22,8 кбит/с.

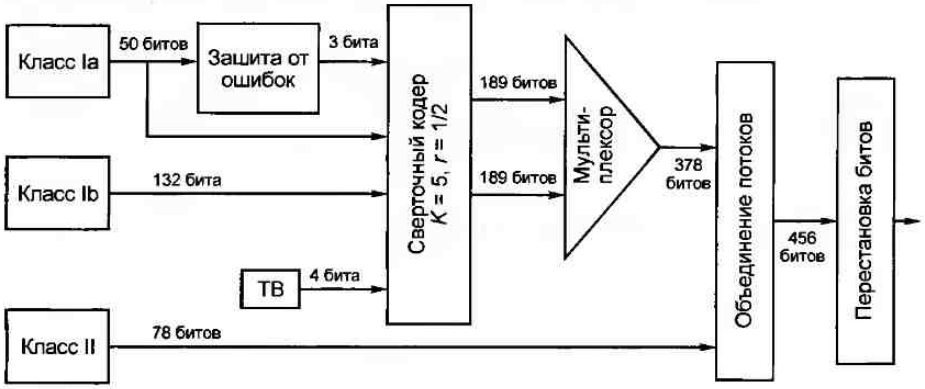


Рис. 1.36. Принцип кодирования пакета трафика

Цифровой сигнал модулируется на аналоговую несущую частоту, используя гауссовскую манипуляцию с минимальным частотным сдвигом (GMSK — Gaussian Minimum Shift Keying). Этот вид модуляции [3, 22] является одним из вариантов минимальной частотной манипуляции (MSK). Напомним, что этот вид частотной модуляции отображает двоичные импульсные сигналы двумя сигнальными частотами, сдвинутыми по фазе на 180° на каждом тактовом интервале. GMSK отличается тем, что импульсы входной последовательности сглаживаются с помощью фильтра нижних частот и приводятся к форме гауссовской кривой. Такая форма обеспечивает более низкий уровень внеполосного излучения и уменьшает влияние на соседние каналы. Однако этот способ модуляции по сравнению с другими имеет меньшую спектральную эффективность. Например, он позволяет передавать около 0,7 бит/с на Гц (теоретическая спектральная эффективность для квадратурной фазовой манипуляции равна 2 бит/с на Гц) и увеличивает энергетические затраты.

Способ GMSK был выбран как компромисс между спектральной эффективностью, сложностью передатчика и уменьшением побочного излучения. Сложность передатчика связана с потребляемой мощностью, которая должна

быть минимальна для подвижной станции. Побочное излучение в заданной ширине полосы должно строго управляться, чтобы ограничить помехи от соседнего канала и обеспечить сосуществование GSM и старых аналоговых систем (по крайней мере, в настоящее время).

Для оценки правильности передачи 50 битов, чувствительных к ошибкам (класс Ia), используется избыточность в виде трех битов, которые получаются уже ранее рассмотренными методами с использованием полинома $G(X) = X^3 + X + 1$. При обнаружении ошибок нарушенный блок заменяется образом предыдущего блока для исключения помех в разговоре (шорохи и трески).

Для декодирования сверточного кода применяется алгоритм Витерби [3, 7]. Он состоит в том, что получаемая часть входной последовательности (например 2 бита) анализируется для того, чтобы получить все возможные исходные последовательности, из которых она может быть получена. Из таких последовательностей выбирается наиболее «правдоподобная» (согласно вероятности перехода). Обоснование этого метода требует достаточно сложного математического аппарата, поэтому приведем ссылку на один из источников [76–78], который отличается доступным изложением.

1.8.3. Перестановка/деперестановка. Шифрование/дешифрование

Перестановка (перемежение) информации — это изменение позиций блоков информации относительно друг друга, которое позволяет разнести стоящие рядом символы, принадлежащие одному и тому же сообщению. При этом групповые ошибки преобразуются в одиночные и эффективно исправляются, например сверточным декодером. Имеются несколько алгоритмов перестановки (перемежения) [41, 49]. Например, алгоритм перестановки блоков информации в соответствии с таблицей (табличное перемежение), алгоритм диагонального перемежения и т.д. Ниже рассмотрен один наиболее простой алгоритм [115], который используется чаще всего в сочетании с другими.

Принцип перестановки в данном случае заключается в том, что временные отсчеты в стандарте GSM длиной 456 битов (для полной скорости передачи речи) разбиваются на 8 групп по 57 битов. Каждая такая группа передается в различных пакетах трафика и в различных кадрах. Биты в каждом пакете пронумерованы и разделены на четные и нечетные. В соответствии с этим они включаются в различные пакеты трафика. Принцип перестановки информации показан на рис. 1.37. Структура кадров рассмотрена ранее (см. рис. 1.27).

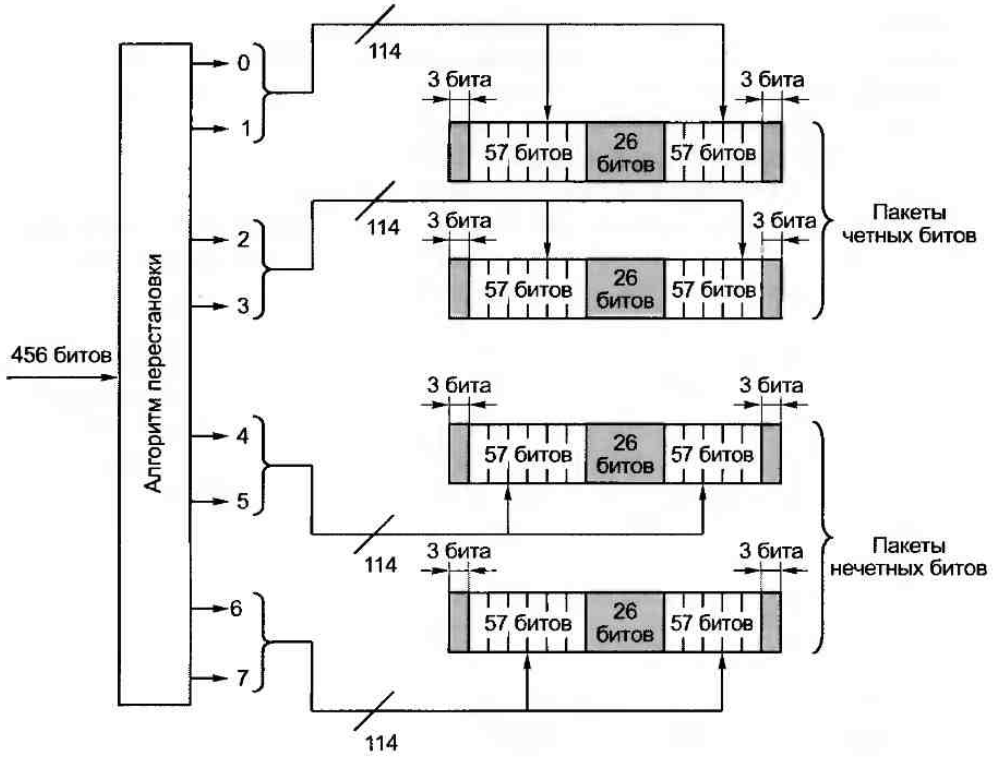


Рис. 1.37. Принцип перестановки информации

Основной недостаток принципа перестановки — это вносимая задержка на накопление пакетов информации, их перестановку и передачу.

В стандарте GSM защита информации представлена средствами шифрования передаваемых данных. Метод шифрования не зависит от типа передаваемых данных (речь, пользовательские данные или сообщения сигнализации). Шифрование применяется только к нормальным пакетам (normal burst).

Шифрование осуществляется преобразованием с помощью операции «исключающее ИЛИ». Эта операция проводится между псевдослучайной многоразрядной последовательностью и 114 полезными битами нормального пакета (все информационные биты кроме двух контрольных флагов). Псевдослучайная последовательность формируется на основе номера пакета и сеансового ключа (session key). Ключ устанавливается в начале сеанса путем обмена сигналами между приемником и передатчиком и используется только в течение одного сеанса связи. После окончания сеанса ключ автоматически стирается. Расшифровка использует тот же самый ключ шифрования.

1.9. Методы улучшения качества передачи сигналов

Подавление искажений из-за многолучевого распространения

В диапазоне работы радиосредств системы GSM радиоволны отражаются от всего — зданий, холмов, автомобилей, самолетов, и т.д. Таким образом, приемной антенны может достигнуть множество отраженных сигналов с различными фазами и вызвать *замирание* (*fade*). Замирание — явление, при котором в течение определенного интервала времени происходит то постепенное усиление, то ослабление сигнала. Подавление искажений из-за многолучевого распространения (multipath propagation) используется для того, чтобы извлечь желательный сигнал из нежелательных отражений. Оно работает, определяя как известный переданный сигнал искажен замиранием из-за многолучевого распространения, и настраивает обратный фильтр, чтобы извлечь остальную часть переданного сигнала. Этот известный сигнал — 26 битов обучающей последовательности, передаваемой в середине каждого временного интервала пакета. Практическая реализация подавления искажений в спецификациях стандарта GSM не определена.

Скачок частоты

Мобильная станция позволяет использовать любую из заданных частот. Это означает, что значение частоты может изменяться между передатчиком и приемником и управляться в пределах одного кадра TDMA. Станции, работающие в стандарте GSM, используют эту свойственную для стандарта подвижность частоты, чтобы осуществить медленный скачок частоты, когда время смены частоты существенно больше временного интервала, соответствующего одному информационному символу. При этом мобильная станция и BTS передают информацию в течение короткого интервала времени на различных несущих частотах. Процесс управления скачком частоты является широковещательным и выполняется по широковещательному каналу управления BCCH. Так как замирание из-за многолучевости зависит от несущей частоты, медленные скачки частоты помогают облегчить проблему помех. Отметим также, что межканальные помехи в действительности случайны и взаимно не связаны.

Прерывистая передача

Уменьшение межканальных помех — цель любой сотовой системы, так как обеспечивает лучшее обслуживание для данной скорости передачи или увеличивает скорость передачи, а следовательно, полную емкость системы.

Прерывистая передача (DTX — Discontinuous Transmission mode) — метод, преимущество которого основано на том, что фактически человек при нормальном сеансе связи говорит меньше 40 % времени. Поэтому возможно выключать передатчик в течение периодов молчания. Дополнительное преимущество состоит в том, что DTX экономит энергию мобильной станции.

Самый важный компонент DTX, конечно, устройство обнаружения голосовой активности (VAD — Voice Activity Detector). Оно должно отличить речь от шумов — задача, которая не так тривиальна, как это кажется. Если речевой сигнал неправильно интерпретируется как шум, передатчик выключается и возникает очень раздражающий эффект, называемый *клиппированием на приемном конце*. Если, с другой стороны, шум ошибочно интерпретируется слишком часто как речевой сигнал, эффективность DTX резко уменьшается. Другой фактор, который следует учитывать, состоит в том, что, когда передатчик выключен, то на приемном конце устанавливается полная тишина из-за цифрового характера GSM. Чтобы дать знать пользователю на приемном конце, что соединение существует, требуется подключение *шума комфорта* на приемном конце, который бы соответствовал характеристикам фоновых шумов, поступающих с передающего конца.

Прерывистый прием

Другой метод сохранения энергии в подвижной станции — прерывистый прием. Широковещательный канал коротких сообщений (PCH), используемый для того, чтобы сигнализировать о вызове базовой станции к мобильной станции, разделяется на подканалы. Каждой подвижной станции выделяется свой собственный подканал. Работа подканалов осуществляется в различные интервалы времени. В режиме ожидания вызова во время между последовательными интервалами работы мобильная станция может переходить в режим, когда энергия почти не потребляется.

Управление мощностью

В соответствии с пиковой мощностью передатчика существует пять классов подвижных станций с номиналами мощности 20, 8, 5, 2, и 0,8 Вт. Чтобы снизить межканальные помехи и сохранить энергию электропитающего прибора, приемопередатчики мобильных станций и базовые станции работают на самой низкой мощности, которую выбирают, исходя из небходимости поддержания приемлемого качества сигнала. Мощность передатчика может подбираться путем ступенчатого увеличения или уменьшения ее значения на 2 дБ относительно пикового.

Подвижная станция измеряет мощность и качество сигнала (основанное на коэффициенте битовых ошибок — BER) и передает информацию на контроллер базовой станции (BSC), который, в конечном счете, решает, изменить ли и когда изменить уровень мощности. Управление мощностью должно осуществляться с учетом влияния на соседние станции и зоны, поскольку оно может стать причиной неустойчивой работы сети. В зоне этой станции имеются соседние подвижные станции, которые увеличивают свою мощность в ответ на увеличение межканальных помех, вызванных другими подвижными станциями, что может привести к отказу сети. Практически это явление маловероятно, оно находится в стадии изучения.

Глава 2

СИСТЕМА МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ CDMA

2.1. Многостанционный доступ с кодовым разделением

Многостанционный доступ с кодовым разделением (CDMA — Code Division Multiple Access) — технология, отличающаяся от доступа с частотным разделением и доступа с временным разделением [45, 80, 105]. Она не использует для разделения доступа ни частоты, ни времени. Хотя по многим признакам она напоминает частотный доступ. Упрощенная структурная схема системы CDMA приведена на рис. 2.1.

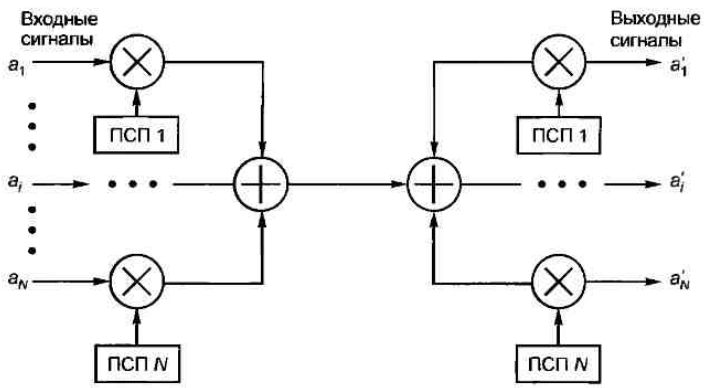


Рис. 2.1. Упрощенная структурная схема системы с кодовым разделением каналов

Каждый входной цифровой сигнал складывается (модулируется) с отдельной несущей, в качестве которой выступает псевдослучайная последовательность (ПСП). Она передается со скоростью большей, чем скорость исходного сигнала. Полученные сигналы объединяются в единый поток. При

этом полоса частот, используемая в радиоканале, гораздо шире, чем полоса исходного сигнала. Этот процесс получил название *расширение спектра* (*spreading spectrum*) [119]. Псевдослучайные последовательности выбираются таким образом, чтобы на приемном конце их можно было разделить (отфильтровать) и отделить сигнал от своей псевдослучайной последовательности. Передача единого объединенного потока осуществляется в одной полосе частот с помощью одного из видов фазовой манипуляции. Поэтому системы, основанные на CDMA, не требуют разделения полосы частот на отдельные каналы, что в свою очередь облегчает процесс хэндовера (переход из одной соты в другую).

Псевдослучайные последовательности должны иметь нулевую корреляцию, т.е. быть взаимонезависимыми.

Существует два способа множественного (многостанционного) доступа с кодовым разделением каналов* (CDMA):

– ортогональный многостанционный доступ;
– неортогональный многостанционный доступ или асинхронный многостанционный доступ с кодовым разделением каналов.

2.1.1. Функции Уолша

Для первого способа разделения каналов — ортогонального многостанционного доступа — применяются ортогональные функции Уолша [119, 120] и функции, получаемые на их базе. Это — набор *ортогональных последовательностей* длиной 2^n, в которых используются только два значения +1 и –1. При кодировании обычно символ 0 заменяется на –1, а 1 — на +1.

Рассмотрим систему двоичных чисел от 0 до $2^4 - 1$ (числа от 0 до 15), которые приведены в табл. 2.1. Она представляет собой функцию, содержащую четыре переменных (x_1, x_2, x_3, x_4).

Если предположить, что каждый разряд этих чисел поступает на вход системы последовательно во времени согласно десятичному номеру в таблице, то это можно изобразить диаграммами (рис. 2.2), которые представляют собой периодические функции, подобные синусу (инверсные переменные подобны косинусу) и сдвинутые по фазе на одно временное положение. На основе этих функций могут быть получены любые другие функции Уолша на конечном отрезке от 0 до $2^4 - 1$.

---

* Множественный (многостанционный) доступ — возможность обращения большого числа пользователей (станций) к единому ресурсу (полосе частот, каналу и т.д.).

Таблица 2.1. Двоичные числа

x_4	x_3	x_2	x_1	№
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

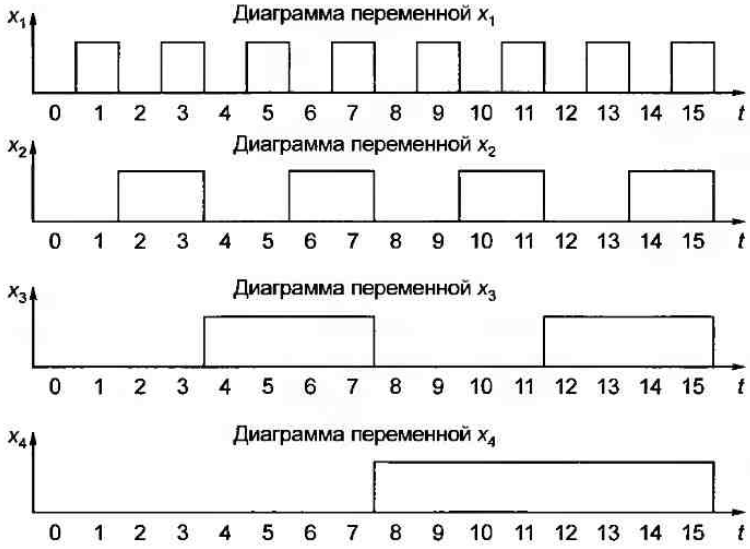


Рис. 2.2. Базисные периодические функции Уолша

Вторая трактовка функций Уолша — это диаграмма коэффициентов при отображении двоичных чисел в десятичную систему.

Известно, что для перехода от двоичных чисел к их десятичным эквивалентам применяются весовые коэффициенты, сумма которых дает соответствующее число

$$D = \sum_{k=0}^{N-1} a_k 2^k,$$

где N — число разрядов двоичного числа; a_k — значение k-го разряда двоичного числа.

В этом случае каждая диаграмма на рис. 2.2 указывает моменты появления чисел, в которые входит заданный весовой коэффициент. Например, весовой коэффициент 2 входит в числа 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15. Этот ряд чисел отображается периодической функцией Уолша, обозначенной на рис. 2.2 как диаграмма переменной x_2.

2.1.2. Корреляция и ортогональные функции Уолша

Как было сказано выше, для объединения нескольких каналов при их кодовом разделении необходимо, чтобы псевдослучайные коды были разделимы с помощью корреляционного фильтра. Для этого они должны достаточно различаться. Степень подобия (похожести) функций в математике отображается с помощью корреляции. Различаются следующие виды корреляции: взаимная корреляция — сравнение двух функций, ортогональная корреляция — при полной независимости двух функций и автокорреляция — сравнение функции с собой при сдвиге во времени.

1. Взаимная корреляция (cross correlation) для двух периодических функций с периодом T определяется формулой:

$$C_{ij} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} W_i(t) W_j(t-\tau) dt.$$

Она измеряет подобие двух сигналов, сдвинутых во времени.

2. Ортогональная корреляция — это частный случай взаимной корреляции, когда эта функция равна нулю

$$C_{ij}(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} W_i(t) W_j(t-\tau) dt = 0.$$

Сигналы, удовлетворяющие этому условию, могут передаваться одновременно ($\tau = 0$), поскольку не создают взаимных помех.

3. Автокорреляция периодического сигнала определяется следующей формулой:

$$R_i(\tau) = \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2} W_i(t)W_i(t-\tau)dt = 0.$$

Она определяет подобие данной функции с ее же версией, сдвинутой во времени.

Для дискретных функций интегрирование можно заменить суммированием.

В системах многостанционного доступа с кодовым разделением каналов применяются ортогональные функции Уолша. Одним из необходимых, (но не достаточных) свойств такого кода является его сбалансированность, т.е. одинаковое число нулей и единиц.

В табл. 2.2 показаны ортогональные функции Уолша длины $2^3 = 8$ [3, 22, 101, 120, 121]. Напомним, что при кодировании обычно символ 0 заменяется –1, а 1 — на +1.

Таблица 2.2. Функции Уолша

Обозначение	Двоичный эквивалент
WAL(8,1)	0000 0000
WAL(8,2)	0000 1111
WAL(8,3)	0011 1100
WAL(8,4)	0011 0011
WAL(8,5)	0110 0110
WAL(8,6)	0110 1001
WAL(8,7)	0101 1010
WAL(8,8)	0101 0101

В обозначении WAL (I,J) I — первая цифра, обозначает длину последовательности, вторая равна $n - 1$, где n — число интервалов функции (изменений полярности).

На рис. 2.3 приведены диаграммы, соответствующие функциям Уолша, приведенным в табл. 2.2.

Ортогональные функции Уолша могут быть сгенерированы с использованием итерационного процесса построения матрицы Адамара [22]. Начиная с $H_1 = [0]$ матрица Адамара может быть сформирована:

$$H_{2n} = \begin{pmatrix} H_n & H_n \\ H_n & \bar{H}_n \end{pmatrix}.$$

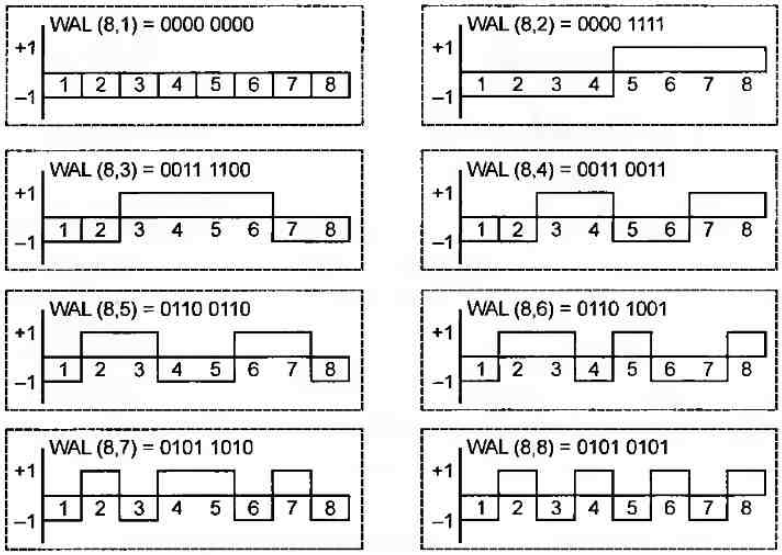


Рис. 2.3. Диаграммы ортогональных функций Уолша

Коды Уолша–Адамара длины 2 и 4 будут получены соответственно:

$$H_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad H_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

$$H_8 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{matrix} 8,1 \\ 8,8 \\ 8,4 \\ 8,5 \\ 8,2 \\ 8,7 \\ 8,3 \\ 8,6 \end{matrix}$$

Полученная матрица H_8 с точностью до порядка следования совпадает с ортогональными функциями, приведенными в табл. 2.2. Для того, чтобы облегчить сравнение с табл. 2.2, справа от матрицы приведены номера функций по табл. 2.2.

Рассмотрим пример определения ортогональности полученных функций. Оценим взаимную корреляцию (без сдвига) функций 8.8 (0101 0101) и 8.6 (0110 1001).

$$\underset{1}{[(-1)\times(-1)]}+\underset{2}{[(1\times1)]}+\underset{3}{[(-1)\times1]}+\underset{4}{[1\times(-1)]}+\underset{5}{[(-1)\times1]}+\underset{6}{[1\times(-1)]}+\underset{7}{[(-1)(-1)]}+\underset{8}{[1\times1]}=0$$

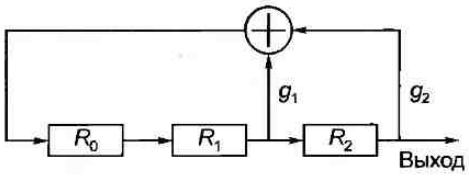
Согласно полученному результату эти две функции ортогональны.

Однако ортогональные функции Уолша имеют недостатки. Система должна быть синхронизирована. При сдвиге синхронизации значение функции корреляция увеличивается.

Для сдвинутых по времени и несинхронизированных сигналов взаимная корреляция может быть не равна нулю. Они могут интерферировать друг с другом. Вот почему кодирование с помощью функций Уолша может использоваться только при синхронном CDMA.

2.1.3. Неортогональные псевдослучайные функции

Неортогональные (асинхронные) псевдослучайные функции могут быть сгенерированы с использованием сдвиговых регистров, сумматоров (сложение по модулю 2) и контуров обратной связи. Рис. 2.4 иллюстрирует такой принцип.



Время	R_0	R_1	R_2
1	1	0	0
2	0	1	0
3	1	0	1
4	1	1	0
5	1	1	1
6	0	1	1
7	0	0	1

Рис. 2.4. Генератор последовательности максимальной длины

Максимальная длина последовательности определяется разрядностью регистра и конфигурацией цепей обратной связи (на рис. 2.4 цепи обратной свя-

зи обозначены g_1, g_2). Регистр длиной N битов может порождать свыше 2^N различных комбинации нулей и единиц. Так как цепь обратной связи выполняет линейные операции, то если все регистры будут иметь нулевое значение, выход цепи обратной связи также будет нулевым. Поэтому, если установить все разряды в нуль, то цепь обратной связи будет всегда давать нулевой выход для всех последующих тактовых циклов, так что необходимо исключить эту комбинацию из возможных последовательностей. Таким образом, максимальная длина любой последовательности равна $2^N - 1$. Генерируемые последовательности называются *последовательностями максимальной длины* или *m-последовательностями*. Основное свойство таких последовательностей состоит в том, что автокорреляционная функция m-последовательности имеет пик при нулевом сдвиге и малый уровень боковых выбросов в остальных случаях. Это позволяет более четко выделять каналы. Конфигурации обратной связи для m-последовательности сводятся в таблицу и могут быть найдены в [61].

Последовательности, порождаемые регистрами сдвига, имеют еще много вариантов. В частности, известны последовательности Голда, порождаемые совокупностью двух регистров, последовательности Касами, порождаемые тремя регистрами и т.д. [23, 61].

2.1.4. Ортогональное расширение с использованием функций Уолша

Рассмотрим систему трех каналов, которая использует три ортогональных расширяющих последовательности, применяемые для расширения спектра в системах с кодовым разделением и представленные ортогональными функциями Уолша:

1-й канал — расширяющая последовательность (–1, –1, –1, –1);
2-й канал — расширяющая последовательность (–1,+1, –1, +1);
3-й канал — расширяющая последовательность (–1, –1, +1,+1).

Предположим, что необходимо передать следующую информацию:

Исходная информация		Кодированная последовательность
1-й канал (110); 2-й канал (010); 3-й канал (001)	Или заменяя 0 на –1, а 1 на +1 ⟶	1-й канал (+1 +1 –1); 2-й канал (–1 +1 –1); 3-й канал (–1 –1 +1)

Комбинация расширяющей последовательности с информацией канала получается умножением всех разрядов последовательности на значение информационного бита. На рис. 2.5 показано получение такой последовательно-

сти с информацией 3-го канала для каждого из каналов. Это является аналогом частотной модуляции каналов.

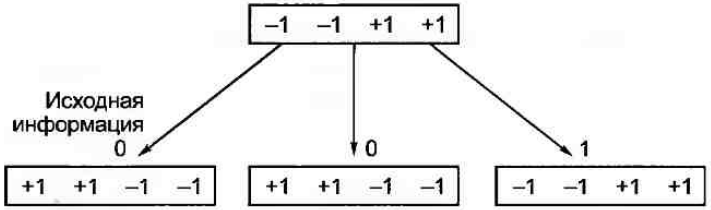


Рис. 2.5. Преобразование исходной информации для трех каналов с помощью ортогональных последовательностей Уолша

Теперь результаты расширения спектров каждого из каналов объединяются (суммируются), как это показано на рис. 2.6 и в табл. 2.3.

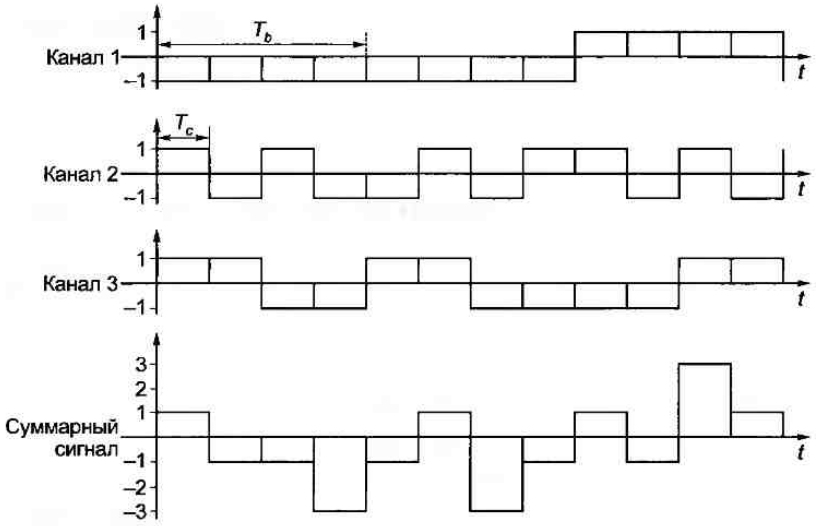


Рис. 2.6. Пример ортогонального кодирования для каналообразования

Таблица 2.3. Пример ортогонального кодирования для каналообразования

Каналы	Исходная информация	Последовательности расширенного спектра		
Канал 1	110	–1, –1, –1, –1	–1, –1, –1, –1	+1, +1, +1, +1
Канал 2	010	+1, –1, +1, –1	–1, +1, –1, +1	+1, –1, +1, –1
Канал 3	001	+1, +1, –1, –1	+1, +1, –1, –1	–1, –1, +1, +1
Суммарный сигнал		+1, –1, –1, –3	–1, +1, –3, –1	+1, –1, +3, +1

На рис. 2.7 и в табл. 2.4 показан пример восстановления первоначального сигнала с использованием ортогональных функций для канала 2.

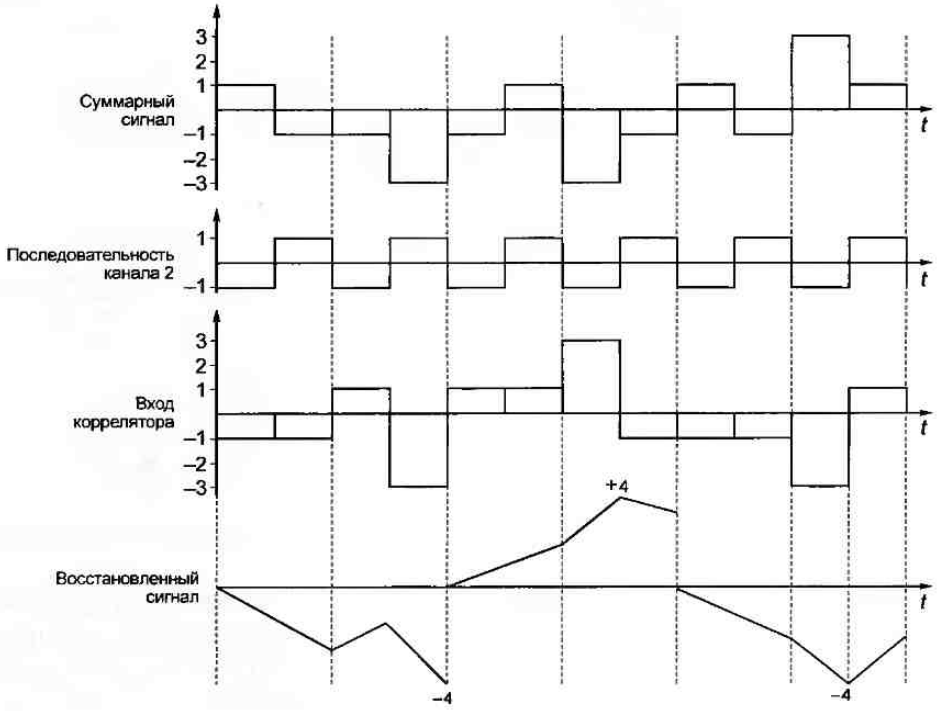


Рис. 2.7. Пример восстановления первоначального сигнала с использованием ортогональных функций

Таблица 2.4. Пример восстановления первоначального сигнала с использованием ортогональных функций

Суммарный сигнал	+1, –1, –1, –3	–1,+1, –3, –1	+1, –1, +3, +1
Последовательность канала 2	–1, +1, –1,+1	–1, +1, –1, +1	–1, +1, –1, +1
Вход коррелятора	–1, –1, +1, –3	+1, +1, +3, –1	–1, –1, –3, +1
Восстановленный сигнал	–4	+4	–4
Двоичный выход	0	1	0

Для восстановления исходного сигнала каждый разряд суммарного сигнала умножается на соответствующий разряд расширяющей последовательности канала 2. После этого полученные результаты суммируются в пределах

одного периода последовательности. Каждый интегральный сигнал дает максимальное по модулю значение равное либо +4, либо –4. В зависимости от этого исходный символ будет соответственно +1 или –1.

Аналогично могут быть получены значения исходной последовательности в каналах 1 и 3.

Если попытаться восстановить сигнал с использованием ортогональной последовательности, не входящей в суммарный сигнал, то получается ноль для каждого периода интегрирования (табл. 2.5).

Таблица 2.5. Пример восстановления первоначального сигнала с использованием ортогональных функций для последовательности (–1, +1, +1, –1)

Суммарный сигнал	+1, –1, –1, –3	–1, +1, –3, –1	+1, –1, +3, +1
Последовательность канала 3	–1, +1, +1, –1	–1, +1, +1, –1	–1, +1, +1, –1
Выход коррелятора	–1, –1, –1, +3	+1,+1, –3+1	–1, –1, +3, –1
Выход интегратора	0	0	0
Двоичный выход	0	0	0

В заключение этого раздела приведем некоторые определения, которые применяются в системах CDMA

Длительность тактового интервала одного бита расширяющего сигнала называется *чипом*. Интервал T_b представляет собой период одного информационного разряда, T_c — период одного чипа (см. рис. 2.6). *Чиповая скорость* (chip rate) $R_c = 1/T_c$ часто используется, чтобы охарактеризовать систему передачи с широким спектром и обычно измеряется в Мчип/с.

База сигнала (*PG — Processing Gain*), иногда называемая *коэффициентом расширения спектра* (*SF — Spreading Factor*), определяется как отношение чиповой скорости R_c к скорости передачи информации ($R = 1/T_b$).

$PG = SF = R_c/R = T_b/T_c$

Это равенство представляет собой число чипов, содержащихся в одном информационном разряде. Чем выше значение базы сигнала (PG), тем больше расширение. Высокое значение PG также означает, что большее количество кодов может быть распределено в том же частотном канале.

2.2. Сети на основе CDMA

2.2.1. Общие положения

Сети и устройства, основанные на применении многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA), построены на основе стандартов,

разработанных Ассоциацией производителей средств связи (TIA — Telecommunication Industry Association). В основном это стандарты, приведенные в [71–75]:

– IS-95 CDMA — радиоинтерфейс;
– IS-96 CDMA — речевые службы;
– IS-97 CDMA — подвижная станция;
– IS-98 CDMA — базовая станция;
– IS-99 CDMA — службы передачи данных.

На базе серии стандартов реализована система 2-го поколения cdmaOne. В дальнейшем эти идеи получили развитие в стандарте широкополосной системы 3-его поколения cdma2000 [65, 82, 83].

Основные услуги, которые могут предоставляться сетью CDMA:

– передача данных и речи со скоростями 9,6 кбит/с, 4,8 кбит/с, 2,4 кбит/с;
– междугородный вызов;
– роуминг (национальный и международный);
– ждущий вызов;
– переадресация вызова (при отсутствии ответа в случае занятости);
– конференцсвязь;
– индикатор сообщений о ждущих вызовах;
– речевая почта;
– текстовая передача и прием сообщений.

2.2.2. Архитектура сети

На рис. 2.8 приведена обобщенная структурная схема сети сотовой подвижной радиосвязи CDMA стандарта IS-95.

Основные элементы этой сети (BTS, BSC, MSC, OMC) по составу совпадают с элементами, используемыми в сотовых сетях с временным разделением каналов (например GSM, см. рис. 1.1). Основное отличие заключается в том, что в состав сети CDMA стандарта IS-95 включены *устройства оценки качества и выбора блоков* (*SU — Selector Unit*). Кроме того, для реализации процедуры мягкого переключения между базовыми станциями, управляемыми разными BSC, вводятся линии передачи между SU и BSC. В центре коммутации мобильной связи (MSC) устанавливается преобразователь-транскодер TCE, который преобразует выборки речевого сигнала из одного цифрового формата в другой.

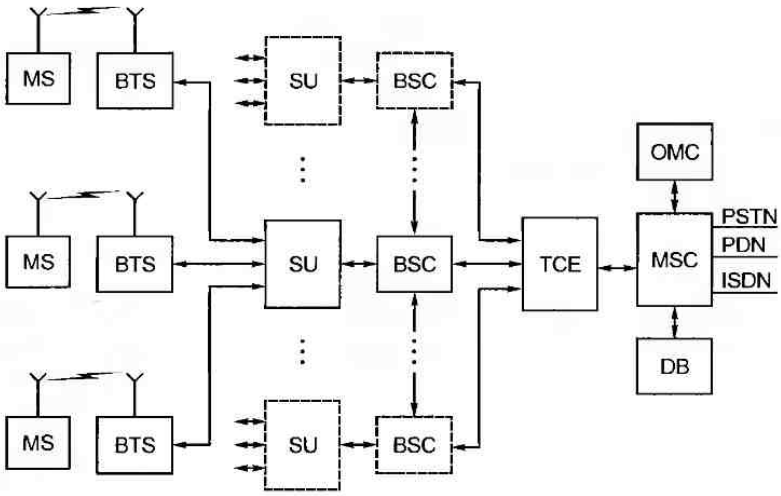


Рис. 2.8. Структурная схема сети CDMA

BSC	Base Station Controller	Контроллер базовой станции
BTS	Base Transceiver Station	Базовая приемопередающая станция
DB	Data Base	База данных
ISDN	Integrated Service Digital Network	Цифровая сеть с интеграцией служб
MS	Mobile Station	Мобильная станция
MSC	Mobile Switching Center	Центр коммутации мобильной связи
OMC	Operation and Maintenance Center	Центр эксплуатации и технического обслуживания
PDN	Packet Data Network	Сеть пакетной коммутации
PSTN	Public Switched Telephone Network	Телефонная сеть общего пользования
SU	Selector Units	Устройство оценки качества и выбора блоков
TCE	Transcoder Equipment	Преобразователь-транскодер

2.2.3. Каналы трафика и управления

В CDMA *каналы для передачи от базовой станции к мобильной станции* называются *прямыми* (*forward*). *Каналы для приема информации от мобильной станции к базовой* называются *обратными* (*reverse*) [14, 31, 48, 59, 60, 75]. Для обратного канала стандарт IS-95 определяет полосу частот от 824 до 849 МГц. Для прямого канала — 869...894 МГц. Прямой и обратный каналы разделены интервалом в 45 МГц. Пользовательские данные упакованы и передаются в канале со скоростью 1,2288 Мчип/с. Пропускная способность прямого канала — 128 телефонных соединений со скоростью трафика 9,6 кбит/с. Состав каналов в системе CDMA стандарта IS-95 показан на рис. 2.9.

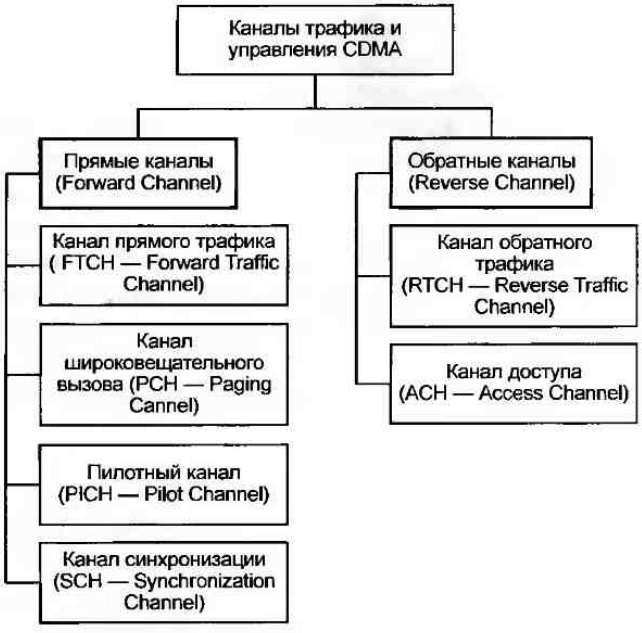


Рис. 2.9. Каналы трафика и управления системы CDMA

Используются различные типы модуляции для прямого и обратного каналов. В *прямом канале* базовая станция передает одновременно данные для всех пользователей, находящихся в соте, используя для разделения каналов различные кодовые комбинации для каждого пользователя. Также передается *пилотный сигнал*, который имеет высокий уровень мощности и обеспечивает пользователей возможностью синхронизировать частоты. *В обратном* направлении подвижные станции отвечают асинхронно (без использования пилотного сигнала), при этом уровень мощности, приходящий к базовой станции от каждой подвижной станции, одинаков. Такой режим возможен благодаря контролю мощности и управлению мощностью мобильных станций по специальному служебному каналу.

Прямые каналы

Данные в прямом канале трафика группируются в кадр длительностью 20 мс. Пользовательские данные после предварительного кодирования и форматирования перемежаются с целью регулирования текущей скорости передачи данных, которая может изменяться. Затем спектр сигнала расширяется путем увеличения скорости исходного сигнала. Это осуществляется пе-

ремножением исходного сигнала на одну из 64 псевдослучайных последовательностей (на основе функций Уолша), у которых скорость передачи равна 1,2288 Мбит/с. Каждому мобильному абоненту назначается ПСП, с помощью которой его данные будут отделены от данных других абонентов. Ортогональность фрагментов ПСП обеспечивается одновременной синхронной кодировкой всех каналов в соте (т.е используемые в каждый момент времени ПСП являются ортогональными).

Как уже упоминалось, в системе передается пилотный сигнал (код) для того, чтобы мобильный терминал мог управлять характеристиками канала, принимать временные метки, обеспечивая фазовую синхронизацию для когерентного детектирования. Для глобальной синхронизации сети в системе используются также радиометки от спутников системы глобального позиционирования GPS.

Рассмотрим типы прямых каналов.

Пилотный канал (*PICH — Pilot Channel*) предназначен для установления начальной синхронизации, контроля уровня сигнала базовой станции по времени, частоте и фазе, идентификации базовой станции.

Канал синхронизации (*SCH — Synchronizing Channel*) обеспечивает поддержание уровня излучения пилотного сигнала, а также фазу псевдослучайной последовательности базовой станции. Канал синхронизации передает синхросигналы мобильным терминалам со скоростью 1200 бод.

Широковещательный канал коротких сообщений, канал вызова (*PCH — Paging Channel*) используется для вызова мобильной станции. Количество каналов — до 7 на соту. После приема сигнала вызова мобильная станция передает сигнал подтверждения на базовую станцию. После этого по каналу широковещательного вызова на подвижную станцию передается информация об установлении соединения и назначении канала связи. Работает со скоростью 9600, 4800, 2400 бод.

Канал прямого трафика (*FTCH — Forward Traffic Channel*) предназначен для передачи речевых сообщений и данных, а также управляющей информации с базовой станции на мобильную, передает любые пользовательские данные.

Для предоставления различных услуг связи в CDMA используются два типа каналов. Первый из них называется *основным*, а второй — *дополнительным*. Услуги, предоставляемые через эту пару каналов, зависят от схемы организации связи. Каналы могут быть адаптированы для определенного вида обслуживания и работать с разными размерами кадра, используя любое значение скорости из двух скоростных рядов: RS-1 (1200, 2400, 4800 и 9600 бит/с) или RS-2 (1800, 3600, 7200 и 14400 бит/с). Определение и выбор скорости приема осуществляются автоматически.

Каждому логическому каналу назначается своя последовательность Уолша, как это указано на рис. 2.10. Всего в одном физическом канале может быть 64 логических канала, т.к. последовательностей Уолша, которым ставятся в соответствие логические каналы, всего 64, каждая из которых имеет длину 64 бита. Из всех 64 каналов:

- на 1-й канал назначается первая последовательность Уолша (W0), которой соответствует пилотный канал;
- на следующий канал назначается тридцать вторая последовательность Уолша (W32), следующим семи каналам так же назначаются свои последовательности Уолша (W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7), которым соответствуют каналы вызова;
- 55 каналов предназначены для передачи данных по каналу прямого трафика.

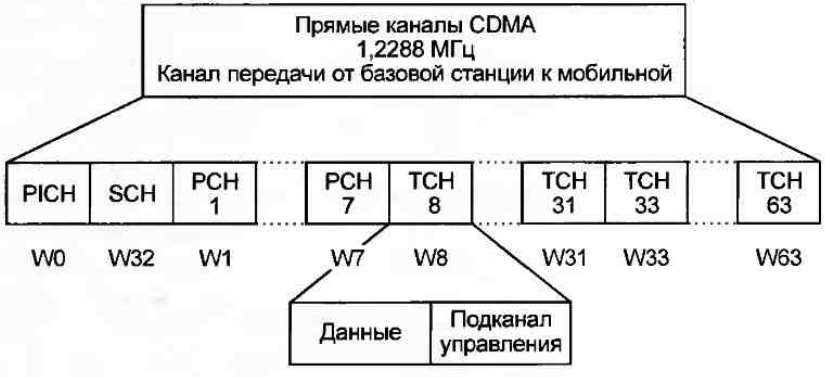


Рис. 2.10. Структура прямых каналов

Состав обратных каналов

К обратным каналам относятся:

Канал доступа (*ACH — Access Channel*) обеспечивает связь подвижной станции с базовой, когда подвижная станция еще не использует канал трафика. Канал доступа используется для установления вызовов и ответов на сообщения, передаваемые по каналу вызова (PCH), команды и запросы на регистрацию в сети. Каналы доступа совмещаются (объединяются) с каналами вызова.

Канал обратного трафика (*RTCH —Reverse Traffic Channel*) обеспечивает передачу речевых сообщений и управляющей информации с мобильной на базовую станцию.

2.3. Кодирование

2.3.1. Кодирование в прямом канале

Этап преобразования сообщения — кодирование с помощью кодов Уолша [14, 121], которое повышает скорость информационного потока с 9,6 (19,2) кбит/с до 1,2288 Мбит/с.

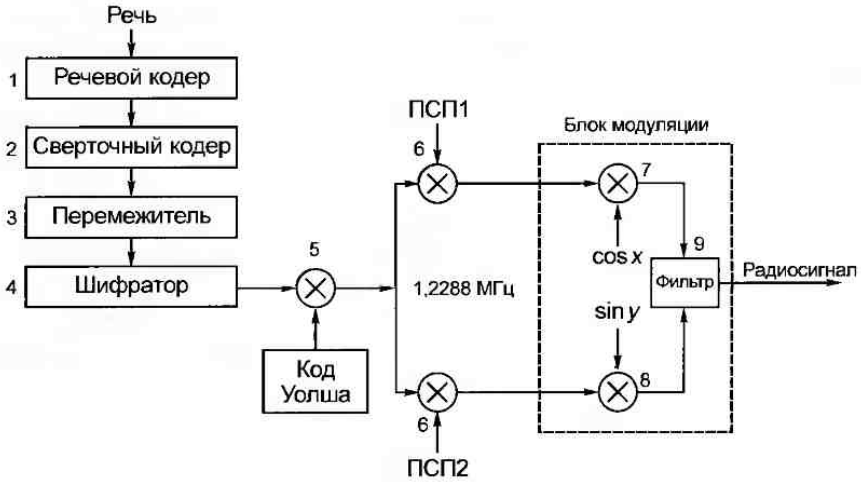


Рис. 2.11. Структурная схема формирования сигнала передатчиком базовой станции

Рассмотрим структурную схему формирования сигнала передатчиком базовой станции (рис. 2.11). В прямом и обратном канале эта схема повторяется. Последовательность функционирования соответствует цифрам на рисунке.

1. Речевой сигнал поступает на речевой кодер. Для передачи речи по каналам системы CDMA используются вокодеры с линейным предсказанием и кодовым возбуждением (CELP — Code Excited Linear Prediction) [67]. Базовая скорость передачи данных в канале составляет 9,6 кбит/с, что определяется добавлением дополнительных корректирующих двоичных символов к цифровому потоку вокодера 8,55 кбит/с (диапазон скоростей этого типа вокодеров составляет от 4 до 16 кбит/с).

2. Сигнал поступает на блок помехоустойчивого кодирования. Для обеспечения на приемной стороне прямой коррекции ошибок (без повторного запроса и передачи сообщения) в канале используется сверточное кодирование (convolution encoding) (см. 1.8.2.). На передающей стороне используется коди-

рование с характеристиками: длина кодового ограничения $K = 9$, скорость кодирования $r = 1/2$. Для этого поступающий цифровой поток разбивается на пакеты длительностью по 20 мс и подается на сверточный кодер. На его выходе число битов удваивается ($r = 1/2$) и при входной скорости 9,6 кбит/с выходная скорость равна 19,2 кбит/с (384 бита за 20 мс).

3. Сигнал поступает в блок перемежения, предназначенный для борьбы с пачками ошибок в эфире. Пачки ошибок — искажение нескольких бит информации подряд. Данные перемежаются, т.е. перемешиваются во временном интервале 20 мс, что делается для равномерного распределения в потоке данных, потерянных во время передачи битов. Известно, что ошибочно принятые символы обычно формируют группы. В то же время схема прямой коррекции ошибок работает наилучшим образом, когда ошибки распределены равномерно во времени.

Принцип перемежения в данном случае следующий. Процесс перемежения битов осуществляется в пределах каждого блока длительностью 20 мс, содержащего при скорости передачи 19,2 кбит/с 384 бита. Поток данных записывается в матрицу (24 строки × 16) по строкам. Как только матрица заполнена, начинается передача информации по столбцам со скоростью записи. Следовательно, когда в эфире искажаются подряд несколько битов информации, при приеме пачка ошибок, пройдя через обратную матрицу, преобразуется в одиночные ошибки.

4. Сигнал поступает в блок шифрования (защита от подслушивания), на информацию накладывается маска (псевдопоследовательность) длиной 42 бита. Эта маска является секретной. При несанкционированном перехвате данных в эфире невозможно декодировать сигнал, не зная маски. Метод перебора всевозможных значений неэффективен, т.к. для перебора всевозможных значений маски придется генерировать 8,7 триллиона масок длиной 42 бита.

Для шифрования применяется скремблирование информационной цифровой последовательности. Для этого производится суммирование по модулю 2 с другой цифровой последовательностью, формируемой с помощью длинного кода с периодом $2^{42} - 1$ символов при скорости 1,2288 Мчипа/с (длительность чипа 813,8 нс). Маска формируется генератором псевдослучайной последовательности.

5. После шифрования цифровой поток преобразуется с помощью длинного кода и логической операции «исключающее ИЛИ» (сложение по модулю два). Как говорилось, *длинными кодами* (кодами максимальной длины) являются коды, которые могут быть получены с помощью регистра сдвига или элемента задержки заданной длины. Максимальная длина двоичной последовательности, которая может быть получена с помощью генератора, построен-

ного на основе регистра сдвига, равна $2^n - 1$ двоичных символов, где n — число разрядов регистра сдвига. В аппаратуре стандарта IS-95 длинный код формируется в результате нескольких последовательных логических операций с псевдослучайной двоичной последовательностью, генерируемой в 42-разрядном регистре сдвига. Такой регистр сдвига применяется во всех базовых станциях этого стандарта для обеспечения режима синхронизации всей сети. Так как информационный поток имеет скорость 19,2 кбит/с, то в прямом канале с тактовой частотой 1,2288 Мчип/с используется только каждый 64-й символ длинного кода.

Поскольку все пользователи получают объединенный сигнал, то для выделения информации необходимо передавать опорный сигнал (по пилотному каналу). В этом канале передается нулевой информационный сигнал. Код Уолша для пилотного канала формируется из нулевого ряда матрицы Уолша. В пилотном канале передается мощный сигнал, который содержит только короткий код. Обычно на нем излучается около 20% общей мощности. Опорный сигнал необходим для последующей фазовой демодуляции. Короткий код позволяет многократно использовать в каждой ячейке один и тот же набор кодов Уолша. Каждая базовая станция имеет свой временной сдвиг при формировании кода и поэтому может быть однозначно определена в сети. Основано это на свойстве псевдослучайных двоичных кодов: значение автокорреляционного момента приближается к нулю для всех временных смещений более одной битовой длины.

6. На этом этапе кодирования сигнала происходит расширение спектра частот, т.е. каждый бит информации кодируется последовательностями ПСП1 и ПСП2, построенными по функции Уолша, генерируемой со скоростью 1,2288 Мчип/с. Канальная скорость потока данных (19,2 кбит/с) увеличивается в 64 раза. Следовательно, в блоке модуляции сигнала скорость манипуляции сигнала возрастает, отсюда и расширение спектра частот. Принцип преобразования сообщения — кодирование с помощью кодов Уолша — уже рассматривался выше. Один ряд матрицы Уолша ставится в соответствие каналу связи между абонентом и базовой станцией. Если на входе кодера «0», то посылается соответствующий ряд матрицы (кода, порождаемого функцией Уолша), если «1» — посылается последовательность, сформированная путем логического отрицания соответствующего ряда матрицы (кода Уолша). Соответственно расширяется и спектр сигнала. Так же функция Уолша отвечает за отсев ненужной информации от других абонентов. В момент начала сеанса связи абоненту назначается частота, на которой он будет работать, и один (из 64 возможных) логический канал, который определяет функция Уолша.

7–8. На заключительном этапе двоичный поток разделяется между синфазным и квадратурным каналами (I- и Q-каналами) для последующей пере-

дачи с использованием квадратурной фазовой манипуляции (QPSK). Цифровой поток в каждом из каналов преобразуется с помощью короткого кода и логической операции «исключающее ИЛИ». Короткий код представляет собой псевдослучайную двоичную последовательность длиной $2^{15} = 32768$ двоичных символов, генерируемую со скоростью 1,2288 Мчип/с. Эта последовательность является общей для всех базовых и подвижных станций в сети. Короткий код формируется в 15-разрядном регистре сдвига с линейной обратной связью. Он формируется на базе двух порождающих полиномов

$$g(x)_I = x^{15} + x^{13} + x^9 + x^8 + x^7 + x^5 + 1,$$

$$g(x)_Q = x^{15} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + 1.$$

Блоки перемножения сигнала на ПСП1 и ПСП2 предназначены для перемешивания сигналов в двух каналах блока квадратурной модуляции.

Скорость следования символов — 1,2288 Мчип/с. Период последовательности из 32768 чипов составляет 26,66 мс ($32768/1{,}2288\times10^6 = 26{,}66\times10^{-3}$ с). Все абоненты одной соты или сектора используют одну и ту же пару псевдопоследовательностей. Псевдопоследовательности для каждого абонента различаются временным сдвигом относительно последовательности с нулевым сдвигом. Всего на длине 32768 чипов приняты 511 сдвигов на 64 чипа каждый относительно последовательности с нулевым сдвигом. Это позволяет идентифицировать 512 сот (секторов).

Заметим, что использование псевдопоследовательностей при модуляции позволило развить новые технологии на основе CDMA [24]. Это — многостанционный доступ со скачкообразной перестройкой частоты — FH CDMA (Frequency Hopping CDMA) и многостанционный доступ с псевдослучайной перестройкой по времени — TH CDMA (Time Hopping CDMA). Принципы работы этих технологий изложены в [24].

9. В блоке модуляции сигнала в системе CDMA используется квадратурная фазовая манипуляция.

Результирующий двоичный поток в каждом канале проходит через цифровой фильтр с конечной импульсной характеристикой, что позволяет ограничить полосу излучаемого сигнала. Этот фильтр уменьшает занимаемую полосу частот на выходе модулятора и формирует специальный вид сигнала — «приподнятый косинус». Частота среза фильтра составляет около 615 кГц. Полученные аналоговые сигналы поступают на соответствующие входы I/Q-модулятора.

Структурная схема приема прямого канала на мобильной станции показана на рис. 2.12. Она содержит устройства, осуществляющие действия, обратные тем, которые выполняет схема формирования сигнала передатчиком базовой станции, пронумерованные теми же номерами, что и блоки на рис. 2.11.

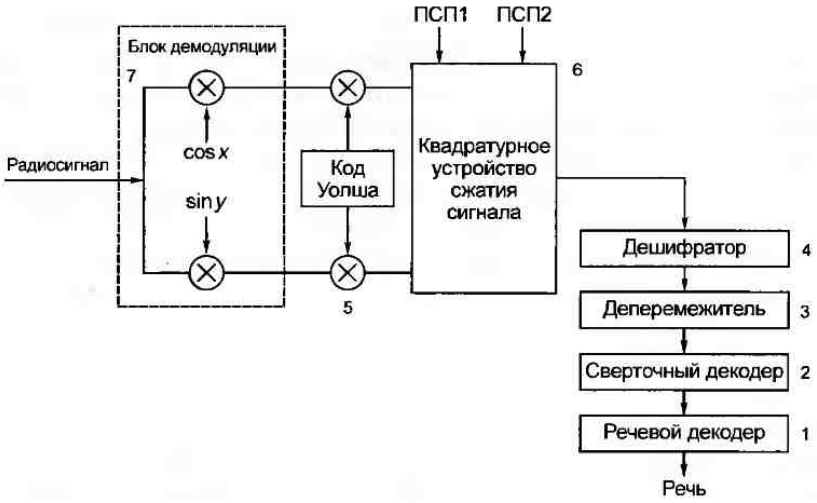


Рис. 2.12. Структурная схема приема прямого канала на мобильной станции

2.3.2. Кодирование в обратном канале

В обратном канале использован другой алгоритм формирования сигналов, поскольку сигналы от удаленных терминалов достигают базовой станции по различным путям. Пользовательские данные также сгруппированы во фреймы длительностью 20 мс.

Структура схемы формирования сигнала передатчика обратного канала (от мобильной станции к базовой) аналогична, показанной на рис. 2.11. Отличия заключаются в следующем. В обратном канале применяется сверточное кодирование со скоростью кодирования 1/3. Это повышает скорость передачи данных с базовой скорости 9,6 до 28,8 кбит/с, и перемежение в пакете производится на интервале 20 мс. После перемежения выходной поток разбивается на слова по шесть битов в каждом. Шестибитовому слову можно поставить в соответствие один из 64 кодов Уолша, порядковый номер которого соответствует двоичному числу, выражаемому этими шестью битами. Таким образом, каждый абонентский терминал использует весь их набор. После этой операции скорость потока данных повышается до 307,2 кбит/с. ((28,8/6)×64 = 307,2).

Далее поток преобразуется с помощью длинного кода, аналогичного коду, используемому базовой станцией. На этом этапе происходит разделение пользователей.

Абонентская емкость системы определяется обратным каналом. Для ее увеличения применяется регулирование мощности в обратном канале, методы пространственного разнесения приема на базовой станции и др.

Окончательное формирование потоков данных происходит таким же образом, как и в базовой станции, за исключением дополнительного элемента задержки на 1/2 длительности символа в Q-канале для реализации смещенной QPSK.

Структурная схема приемника обратного канала аналогична схеме, приведенной на рис. 2.12. Однако, в приемнике обратного канала принимается объединенный поток от нескольких мобильных станций (в едином частотном спектре). Там же происходит разделение абонентских сигналов в соответствии с кодом Уолша. Все базовые станции используют для кодирования каналов один и тот же короткий 15-разрядный код, но со сдвигом с шагом 64 чипа. Таким образом, возможно 511 сдвигов по отношению к коду с нулевым сдвигом.

2.4. Некоторые примеры работы сети CDMA

Работа сети CDMA в части выполнения этапов и по составу сигналов похожа на другие сети подвижной связи и, в частности, на рассмотренную ранее сеть GSM, однако она имеет свои особенности, связанные с кодированием сигналов, шифрованием. Наиболее заметными отличиями являются: возможность проведения мягкого хэндовера и принципы управления мощностью, которые будут рассмотрены далее.

2.4.1. Регистрация в сети

После включения мобильная станция настраивается на рабочую частоту сети и ищет сигнал базовой станции (в сети используется общий для всех базовых и подвижных станций короткий код). Вероятно, что MS обнаружит несколько сигналов от разных базовых станций, которые можно различить по временному сдвигу псевдопоследовательности. Подвижная станция выбирает сигнал с бóльшим уровнем и таким образом получает когерентную опору* для осуществления последующей демодуляции сигнала синхронизации. Этот сигнал передается по каналу SCH, которому поставлена в соответствие последовательность Уолша W32 (см. рис. 2.10). В нем передается информация о будущем содержании 42-разрядного регистра сдвига, используемого для формирования длинного кода. Эта информация посылается с опережением относительно информационного канала на 320 мс. Поэтому подвижная станция имеет достаточно времени для декодирования сообщения и загрузки информации

* Когерентная опора (коэффициент когерентности) — величина, характеризующая совпадение сигналов при их использовани в процессе модуляции и демодуляции.

в регистр. Таким образом достигается синхронизация с сетевым временем. После этого подвижная станция начинает мониторинг одного из каналов вызова. Если абонент пытается войти в сеть, то его станция будет пытаться осуществить соединение с базовой по одному из каналов доступа. В этом случае для формирования длинного кода используется двоичная маска, параметры которой индивидуальны для каждой базовой станции сети. Если одновременно несколько пользователей пытаются осуществить соединение, то возникает конфликт. Когда базовая станция не подтверждает попытку соединения по каналу вызова, абонентская выжидает произвольное время и делает следующую попытку.

2.4.2. Обмен сигналами между мобильной и базовой приемопередающей станциями

Порядок обмена при соединении от MS (исходящее сообщение) и к MS (входящее сообщение) показан на рис. 2.13 [14, 60]. Он во многом совпадает с уже рассмотренным выше для системы GSM. Однако для передачи используются другие каналы и другое содержание сигналов. Ниже даются некоторые комментарии к рисунку.

1. Базовая станция передает мобильной станции вызов (запрос на соединение).

2. Мобильная станция передает ответ на запрос (сигнал «запрос назначения канала»), сообщая свой идентификационный номер (MIN — Mobile Identification Number), электронный серийный номер оборудования (ESN — Electronic Serial Number).

3. Базовая станция принимает «запрос назначения канала», определяет и назначает канал трафика, выбирая общий для всех каналов данной базовой станции длинный код. После этого посылает сообщение о назначении прямого канала.

4. Мобильная станция выполняет процедуру назначения конкретного канала и высылает базовой станции преамбулу, которая содержит, наряду со стандартными данными (код отправителя, код назначения), данные для настройки на конкретно выбранный канал для того, чтобы базовая станция могла настроиться и выбрать канал обратного трафика.

5. Базовая станция выбирает канал обратного трафика и передает для MS по прямому каналу номер этого канала и запрос на аутентификацию.

6. Мобильная станция проводит процедуру аутентификации абонента (рассматривается далее) и передает ответ на аутентификацию.

7. Базовая станция передает на исходную станцию сигнал о включении зуммера посылки вызова и передает мобильной станции сигнал готовности к

обмену, содержащий информацию о номере вызывающего абонента (CIN — Calling Identification Number).

8. Мобильная станция передает сигнал на посылку вызова входящему абоненту и выводит на табло информацию CIN. Далее мобильная станция ждет сигнала ответа абонента. После получения этого сигнала абонент передает сигнал на снятие сигнала посылки вызова и передает на базовую станцию сигнал подтверждения готовности к обмену (окончание соединения).

9. Базовая станция включает приборы разговорного тракта в положение «обмен» и передает подтверждение соединения на базовую станцию.

10. Далее происходит обмен речевой информацией или данными.

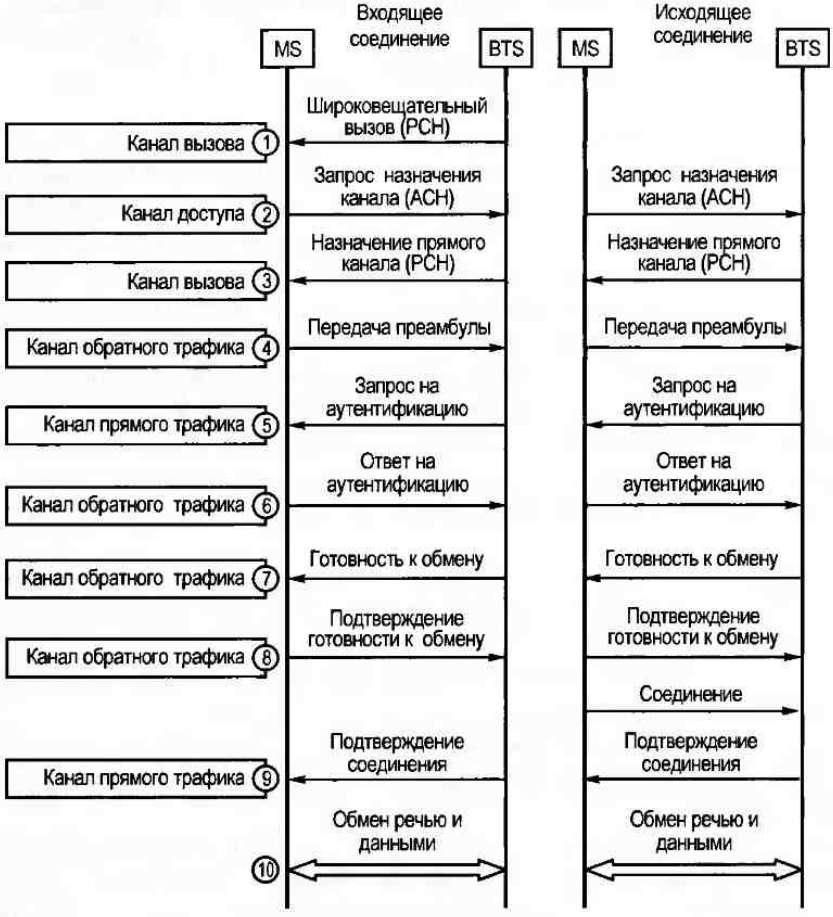


Рис. 2.13. Порядок обмена сигналами для входящего и исходящего соединения в системе CDMA

Порядок обмена сигналами от BTS к MS следующий:

– мобильная станция при поступлении вызова абонента передает сигнал запроса о назначении канала. Этот сигнал, как и в п. 2, содержит идентификационный номер MIN и электронный номер оборудования ESN;
– после принятия этого сигнала обмен сигналами повторяет предыдущий алгоритм.

2.4.3. Аутентификация и шифрование

Безопасность связи обеспечивается также применением процедур аутентификации и шифрования сообщений. Принцип выполнения этих процедур показан на рис. 2.14. В системе CDMA используется стандартный алгоритм аутентификации и шифрования речи в сотовой связи (CAVE, Cellular Authentication and Voice Encryption) [123] для генерации ключа длиной 128 битов, называемый «общие секретные данные» (SSD — Shared Secret Date). Эти данные генерируются на основе А-ключа, который хранится в мобильной станции, и полученного от сети псевдослучайного числа. Алгоритм CAVE генерирует общие секретные данные. Они разделяются на две части: SSD-A длиной 64 бита, используемую для создания цифровой подписи, и SSD-B (64 бита) — для генерации ключей при шифровании речи. SSD могут быть использованы при роуминге поставщиками услуг для местной аутентификации. Новые общие секретные данные могут быть сгенерированы, когда мобильная станция перемещается к чужой сети или возвращается к домашней сети.

Цифровая подпись генерируется длиной 18 битов и посылается базовой станции с целью проверки принадлежности абонента к данной системе, установления его прав и полномочий. При этом используется один из двух алгоритмов:

– глобальное квитирование (global challenge), когда всем мобильным станциям передается в данный момент одно и то же псевдослучайное число;
– уникальное квитирование (unique challenge), когда псевдослучайное число назначается при каждом запросе соединения.

Мобильная станция и сеть ведут учет истории вызовов. Это обеспечивает возможность обнаружения незаконного использования мобильных телефонов или SIM-карт.

А-ключ может быть перепрограммируем, для чего должны быть изменены данные на мобильной станции и сетевом центре аутентификации. А-ключи могут быть перепрограммированы одним из следующих способов:

а) на фирме-производителе;
б) на месте продажи;

в) абонентом по телефону;

г) с помощью процедуры перепрограммирования по эфиру с использованием сервиса беспроводных услуг OTASR (Over The Air Service Reprogramming) путем передачи информации по радиоканалу в зашифрованном виде.

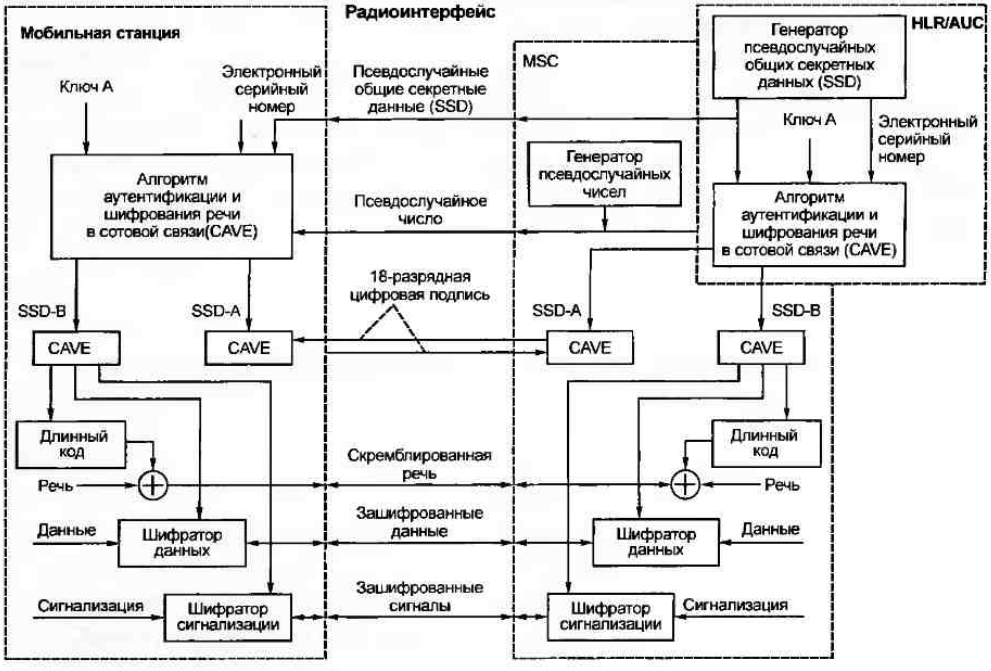


Рис. 2.14. Принцип аутентификации и шифрования информации в системе CDMA

Замена А-ключа на мобильной станции через OTASR обеспечивает простой способ быстрого отключения обслуживания нелегальному пользователю мобильной станции или инициирования ввода новых услуг легальному абоненту.

Мобильные станции используют общие секретные данные типа B (SSD-B) и алгоритм CAVE для генерирования маски частного длинного кода (private long code mask). Эта маска позволяет создать режим *частного характера связи*. Он использует сотовый ключ алгоритма шифрования сообщений (CMEA — Cellular Message Encryption Algorithm) — 64 бита, и ключ данных (Data Key) — 32 бита. Маска частного длинного кода используется и в мобильной станции, и в сети для изменения характеристик длинного кода. Измененный длинный код используется для скремблирования речи, которое обеспечивает дополни-

тельный уровень секретности передачи по радиоинтерфейсу CDMA. Маска частного длинного кода не используется для шифрования информации, она просто заменяет известное значение, используемое при кодировании CDMA-сигнала частным значением, известным только в мобильной станции и сети. Поэтому при таком кодировании чрезвычайно трудно подслушивать сеансы связи, не зная маску частного длинного кода.

Дополнительно мобильная станция и сеть используют ключ CMEA вместе с усовершенствованным алгоритмом CMEA — ECMEA (Enhanced CMEA), чтобы зашифровать сообщения служебных сигналов, передаваемых по радиоканалу. Отдельный ключ данных и алгоритм шифрования используются мобильной станцией и сетью, чтобы зашифровать и расшифровывать данные.

2.5. Мягкая передача вызова и управление мощностью в системах CDMA

По характеру передачи соединения разделяют [22, 111]:
– жесткий хэндовер — hard handover;
– мягкий (межсотовый) хэндовер — soft (intercell) handover;
– более мягкий (межсекторный) хэндовер — softer (intersector) handover.

При жесткой передаче соединения процесс переключения проводится без разрыва связи, но сопровождается ухудшением связи в момент переключения частот. Чаще всего прерывание и восстановление связи воспринимается абонентом как «щелчок» в трубке.

При жестком хэндовере осуществляется переход к новой базовой станции. При этом изменяются пилотные сигналы (используется новый набор, относящийся к новой соте), проводится подстройка кадров трафика под систему синхронизации новой соты.

Сценарии жесткого хэндовера включают:
– хэндовер между базовыми станциями или секторами, имеющими разные несущие частоты CDMA;
– хэндовер при замене одного пилот-сигнала на другой пилот-сигнал (непересекающиеся наборы активных пилот-сигналов);
– хэндовер от CDMA к аналоговой системе и от аналоговой системы к CDMA.

При мягкой передаче соединения предусматривается одновременная работа мобильной станции с более чем одной базовой станцией. В процессе хэндовера мобильная станция передает одну и ту же информацию обеим ба-

зовым станциям. Каждая базовая станция получает сигнал от мобильной станции с соответствующей задержкой распространения и затем передает его на *устройство оценки качества и выбора кадров* (*SU — Selector Unit*). Другими словами, две копии одного и того же кадра передаются SU, которое выбирает лучший кадр и бракует другой. Переключение рабочего канала с одной базовой станции на другую происходит без ухудшения качества соединения. При этом используется пилот-сигнал из одного и того же набора пилот-сигналов соты. Такой процесс еще называют хэндовером с разнесением каналов (diversity handover). Разнесение улучшает характеристики канала в сети с замираниями. Главное преимущество мягкого хэндовера — разнесение трасс для прямых и обратных каналов трафика. Оно делается для того, чтобы уменьшить интерференцию. Поэтому требуется меньший расход энергии для передачи информации. В результате требуется меньшая энергия для передачи сигналов от мобильных станций, что приводит к более длительному сроку использования заряда аккумулятора.

При более мягкой передаче во время хэндовера между секторами одной соты мобильная станция передает одну и ту же информацию обоим секторам соты. Канальный комплект соты получает сигналы от этих секторов, объединяет оба входящих сигнала и передает SU только один кадр. В этом случае не требуется задействовать несколько канальных комплектов, как это требуется в случае мягкого хэндовера. При мягком хэндовере такое объединение в одном канальном комплекте сигналов от двух сот не дает хорошего эффекта, поскольку сигналы от различных сот менее коррелированны, чем сигналы от секторов одной и той же ячейки.

2.5.1. Пилот-сигнал

Термин «пилот-сигнал» в системе CDMA означает кодовую последовательность, передаваемую вместе с другими сигналами в общей полосе частот. Все пилот-сигналы передаются с помощью пилотного канала (PICH), направленного от базовой станции к мобильной. Пилот-каналы разделяются с помощью псевдослучайных последовательностей и передаются на одной и той же частоте. Они содержат указание обслуживаемой соты или сектора. Излучение пилот-сигнала осуществляется непрерывно в широковещательном режиме, чтобы его могли принять все мобильные станции, расположенные в зоне обслуживания данной базовой станции. С помощью пилот-сигнала обеспечивается кадровая синхронизация и когерентное восстановление несущей (полностью совпадающее с исходной несущей). Мобильная станция различает четыре группы пилотных сигналов, рассмотренных ниже.

Группа активных сигналов

Она содержит пилот-сигналы, связанные с каналами трафика, идущими от базовой станции (разделенными с помощью функций Уолша). Сигналы от этих трех разнесенных каналов (three fingers) объединяются с помощью приемника (RAKE[1]-приемник), суммирующего эти сигналы с соответствующими весовыми коэффициентами. Обычно в группе, объединяемой RAKE-приемником, содержится три пилот-сигнала, однако стандарт позволяет объединять до шести пилот-сигналов. Базовая станция сообщает мобильной станции о содержании активной группы каналов, используя сообщение «назначение канала» (channel assignment). Активные пилот-каналы либо отслеживаются, либо используются для обслуживания соединений.

Группа кандидатов на пилот-сигнал

Эта группа содержит пилот-сигналы, которые в данный момент не входят в активную группу. Однако эти пилот-сигналы поступают с достаточной интенсивностью, которая указывает на то, что связанные с ними прямые каналы трафика могут быть успешно приняты. Максимальный размер группы — шесть пилот-сигналов

Группа соседних пилот-сигналов

Эта группа содержит соседние пилот-сигналы, которые в данное время не входят ни в активную группу, ни в группу кандидатов на пилот-сигнал, но их использование вероятно при хэндовере. Соседние пилот-сигналы — это сигналы всех сот (секторов), которые находятся в непосредственной близости от данной соты (сектора). Начальный список соседних пилот-сигналов передается мобильной станции в сообщении «системные параметры» по каналу вызова (PCH). Максимальный размер группы соседних пилот-сигналов — 20.

Группа остальных пилот-сигналов

Эта группа содержит все возможные пилот-сигналы, исключая сигналы, входящие в группы активных, кандидатов или соседних.

При поиске пилот-сигналов мобильная станция не ограничивается выбором номера псевдокода (PN). Пилот-сигналы выбираются в пределах нескольких тактовых интервалов расширяющего сигнала с учетом различных

[1] RAKE – грабли. Название устройства происходит от условного обозначения, состоящего из нескольких входов (зубцов - fingers) для приема разнесенных каналов и одной объединяющей шины.

факторов, возникающих из-за многолучевости. Другими словами, сигналы, возникающие из-за многолучевости, прибывают позже на несколько тактовых интервалов, поэтому мобильные станции при поиске каналов используют окно поиска. Это окно указывает возможные номера пилот-сигналов из группы активных, кандидатов и соседних, наиболее близких к многолучевому сигналу, поступившему раньше других. При этом в окно поиска могут включаться остальные сигналы, не указанные в этих группах.

Окна поиска

Мобильные станции используют следующие три окна поиска, чтобы проследить за получаемыми пилот-сигналами:

- SRCH_WIN_A — устанавливает размеры для активных наборов и наборов кандидатов;
- SRCH_WIN_N — устанавливает размеры набора соседних пилот-сигналов;
- SRCH_WIN_R — устанавливает размер набора остальных сигналов.

SRCH_WIN_A

SRCH_WIN_A — окно поиска, которое использует мобильная станция, чтобы проследить за наборами активных пилот-сигналов и кандидатов на пилот-сигнал. Это окно устанавливается согласно ожидаемой среде распространения. Оно должно быть достаточно большим, чтобы фиксировать все используемые многолучевые сигнальные компоненты базовой станции, и в то же самое время оно должно быть как можно меньше, чтобы оптимизировать работу по поиску.

Пример 1. Определить размер окна мобильной станции, если сигнал распространяется в среде, которая имеет следующие параметры:

- сигнал распространяется по прямому пути — 1 км;
- при многолучевом распространении сигнал проходит до мобильной станции 5 км;
- чиповая скорость, определяемая в стандарте I-95, — 1,2288 Мчип/с;
- скорость распространения сигнала — $300 \cdot 10^6$ м/с.

Длительность одного чипа:

$(1/(1{,}2288 \cdot 10^6) = 0{,}814$ мкс;

время распространения сигнала на расстояние 1000 м (1 км):

$1000/(300 \cdot 10^6) = 3{,}333$ мкс

или время задержки в чипах:

3,333/0,814 = 4,1.

При расстоянии 5 км это время задержки равно 20,5 чипов.

Разность задержек равна

20,5 – 4,1 = 16,4 чипа.

Размер окна поиска SRCH_WIN_A ≥ 2·16,4 = 32,8 или 33 чипа.

Расширяющий коэффициент 2 учитывает погрешность скорости распространения.

Пример 2. Пусть соты A и B находятся на расстоянии 16 км (рис. 2.15). Мобильная станция перемещается от соты A к соте B. Решено сделать область мягкого хэндовера между точкам X и Y, которые расположены на расстоянии 6 и 10 км от соты A (рис. 2.15).

Какой размер должно иметь окно поиска?



Рис. 2.15. Определение окна SRCH_WIN_A для мягкого хэндовера

Используя результаты предыдущего примера можно определить, что время задержки сигнала в чипах равно

$$T_{\text{чип}} = \frac{S}{300 \cdot 10^6 \times 0{,}814 \cdot 10^{-6}} = \frac{S}{244},$$

где S — расстояние от источника сигнала до приемника в метрах.

В точке X задержка сигнала от мобильной станции до соты A:

$$T = \frac{6000}{244} = 24{,}6 \text{ чипа.}$$

В точке X задержка сигнала от мобильной станции до соты B:

$$T = \frac{10000}{244} = 41{,}0 \text{ чип.}$$

Разность времен распространения:

d = 41,0 – 24,6 = 16,4 чипа.

В точке Y задержка сигнала от мобильной станции до соты A:

$$T = \frac{10000}{244} = 41{,}0 \text{ чип.}$$

В точке Y задержка сигнала от мобильной станции до соты B:

$$T = \frac{6000}{244} = 24{,}6 \text{ чипа.}$$

Разность времен распространения:

$d = 41{,}0 - 24{,}6 = 16{,}4$ чипа,

SRCH_WIN_A ≥ 2×16,4 = 32,8 чипа.

Расчет гарантирует, что активные пилот-сигналы (кандидаты) находятся в пределах размеров одного окна и мягкий хэндовер возможен.

SRCH_WIN_N

SRCH_WIN_N — окно поиска, которое мобильный телефон использует, чтобы контролировать группу соседних пилот-сигналов. Размер этого окна обычно больше, чем SRCH_WIN_A. Достаточно большое окно необходимо не только для фиксации всех годных к использованию мобильной станцией пилот-сигналов основной зоны обслуживания (с учетом многолучевости), оно также должно фиксировать сигналы соседних сот. В этом случае необходимо принимать во внимание многолучевое распространение сигналов и различия путей между обслуживающей основной станцией и соседними базовыми станциями. Максимальный размер этого окна поиска ограничен расстоянием между двумя соседними базовыми станциями.

Рассмотрим две соседние станции, расположенные на расстоянии 6 км. Пусть мобильная станция расположена рядом с базовой станцией 1, и поэтому задержка распространения от базовой станции 1 к мобильной станции незначительна. Расстояние между основной станцией 2 и мобильным телефоном — 6 км.

Время распространения в чипах — 6000/244 = 24.6 чипа. Окно поиска показывает, что пилот-сигнал от соты 2 прибывает к мобильной станции на 24.6 чипа позже, чем от соты 1. Таким образом, для мобильного телефона (расположенного в пределах ячеек 1 и 2) для того, чтобы искать пилот-сигналы потенциальных соседей, окно SRCH_WIN_N должно быть установлено согласно физическому расстоянию между текущей базовой станцией и ее соседней базовой станцией. Фактически размер SRCH_WIN_N не может быть больше, чем вычисленный по этому расстоянию.

SRCH_WIN_R

Обычное требование к размеру этого окна состоит в том, чтобы оно было, по крайней мере, такого же размера, как SRCH_WIN_N.

2.5.2. Параметры хэндовера

Существуют следующие параметры хэндовера. T_ADD, T_COMP, T_DROP и T_TDROP, которые относятся к измерениям пилот-сигнала.

Таймер снижения уровня T_TDROP

T_TDROP — параметр, который управляет таймером. Всякий раз, когда интенсивность пилот-сигнала в активной группе падает ниже значения T_DROP, мобильная станция включает таймер. Если пилот-сигнал снова становится равным или выше T_DROP, таймер устанавливается повторно. Если время таймера T_TDROP исчерпывается из-за того, что интенсивность пилот-сигнала упала ниже T_DROP, то передается сигнал об исключении пилот-сигнала из соответствующей группы. Мобильная станция контролирует таймер снижения уровня сигнала для каждого активного пилот-сигнала или кандидата в пилот-сигналы.

Порог обнаружения пилот-сигнала T_ADD

Любой пилот-сигнал, который имеет достаточную интенсивность, но не включен в активную группу, является источником помех. Этот сигнал должен быть немедленно включен в активную группу. Порог T_ADD показывает процент превышения интенсивности пилот-сигнала над интенсивностью нормального сигнала, после достижения которого этот пилот-сигнал может быть использован для хэндовера. Этот процент должно быть достаточно малым, чтобы можно было не уменьшать число полезных пилот-сигналов, и в то же время достаточно высоким, чтобы избежать использования каналов, имеющих плохое качество.

Порог сравнения T_COMP

Сигнал, характеризующий параметры этого порога, дает результаты сравнения данного пилотного сигнала с другими активными пилотными сигналами данной группы и указывает, насколько уровень данного пилотного сигнала отличается от уровня других, входящих в данную группу (каждый кон-

кретный показатель T_COMP должен быть равен или больше показателей других сигналов). Он влияет на процесс хэндовера подобно T_ADD и должен быть достаточно низким для того, чтобы хэндовер начался быстрее и качество связи не ухудшалось. В то же время он должен быть достаточно высоким, чтобы избежать ложных действий.

Порог снижения пилот-сигнала T_DROP

Определяет порог нормального сигнала, ниже которого требуется начинать процесс хэндовера. Он должно быть достаточно малым, чтобы не допускать браковки каналов с хорошим качеством и поддерживаться таймером, чтобы отличить выход объекта из зоны устойчивой работы, гарантирующей качество связи, от кратковременного замирания. Значение T_DROP должно быть тщательно рассчитано с учетом значений T_ADD и T_TDROP.

Значение таймера снижения уровня T_TDROP

Показатель T_TDROP указывает время, за которое уровень пилот-сигнала может уменьшиться до значения ниже заданного порога при переходе подвижной станции из одной соты в другую. Оно должно быть больше, чем время, требуемое для окончания хэндовера. Параметр T_TDROP должен быть достаточным, чтобы не удалять при передаче вызова пилот-сигналы, пригодные для использования, слишком быстро.

В табл. 2.6 приведены типичные значения параметров хэндовера.

Таблица 2.6. Типичные значения параметров хэндовера

Параметр	Диапазон	Рекомендуемое значение
T_ADD	–31,5…0 дБ	–13 дБ
T_COMP	0…7,5 дБ	2,5 дБ
T_DROP	–31,5…0 дБ	–15 дБ
T_TDROP	0…15 с	2 с

Сообщения хэндовера

Ниже термин «хэндовер» означает не только процесс переключения мобильной станции с одной базовой станции на другую, но и переодическую корректировку состава групп пилот-сигналов.

В системе CDMA используются следующие сообщения хэндовера: «измерение интенсивности пилот-сигнала» (PSMM — Pilot Strength Measure-

ment Message), «запрос хэндовера» (HDM — Handover Direction Message), «завершение хэндовера» (HCM — Handover Completion Message), «обновление списка соседних пилот-сигналов» (NLUM — Neighbor List Update Message).

Мобильная станция выделяет сигнал «измерение интенсивности пилот-сигнала». Если этот сигнал ниже назначенного порога, то базовая станция назначает новый прямой канал трафика, посылает мобильной станции сигнал HDM. Мобильная станция выделяет из сообщения номер нового канала трафика и передает базовой станции сигнал HCM.

Сообщение PSMM содержит следующую информацию:
- оценку отношения сигнал/шум;
- время прибытия;
- значения таймера снижения уровня пилот-сигнала;
- значения параметров хэндовера (T_ADD, T_DROP, T_COMP, T_TDROP).

Сообщение HDM содержит следующую информацию:
- порядковый номер сообщения;
- частоту канала CDMA;
- номер активного набора (старого или нового набора пилот-сигналов или величину смещения от начала);
- код Уолша, связанный с каждым из пилот-сигналов.

Сообщение HCM содержит следующую информацию:
- положительное подтверждение;
- смещение псевдослучайной последовательности для каждого пилот-сигнала в активном наборе.

Сообщение «обновление списка соседних пилот-сигналов» (NLUM) передает базовая станция. Оно содержит самый последний список соседних пилот-сигналов в активном наборе.

Мобильная станция непрерывно следит за интенсивностью всех пилот-сигналов, которая сравнивается с различными пороговыми значениями T_ADD, T_COMP, T_DROP, T_TDROP.

Пилот-сигнал перемещается от одного набора к другому в зависимости от интенсивности сигнала относительно заданного порога. Рис. 2.16 иллюстрирует пример использования пороговых значений при изменении пилот-сигнала. Ниже приведено описание процесса в соответствии с нумерацией моментов времени на рис. 2.16.

1. Если интенсивность сигнала превышает значение порога обнаружения пилот-сигнала (T_ADD), мобильная станция передает сообщение «измерение интенсивности пилот-сигнала» (PSMM) и переводит этот сигнал в набор кандидатов на пилот-сигнал.

2. Базовая станция посылает сигнал «запрос хэндовера» (HDM), указывая пилот-сигнал, который будет введен в активный набор.

3. Мобильная станция инициирует новый канал трафика, пилот-сигнал вводится в активный набор, мобильная станция посылает сигнал «хэндовер завершен» (HCM).

4. Интенсивность пилот-сигнала становиться ниже T_DROP.

5. Истекает время таймера снижения уровня сигнала. Мобильная станция передает базовой станции сигнал PSMM.

6. Базовая станция передает сигнал «запрос хэндовера» (HDM) к мобильной станции.

7. Мобильная станция получает сигнал HDM. Пилот-сигнал «входит» в соседний набор, и мобильная станция передает сообщение HCM о завершении хэндовера.

8. Мобильная станция получает сигнал об обновлении списка соседних пилот-сигналов (NLUM), который не включает исключенного пилот-сигнала. Пилот-сигнал включается в набор остальных сигналов.

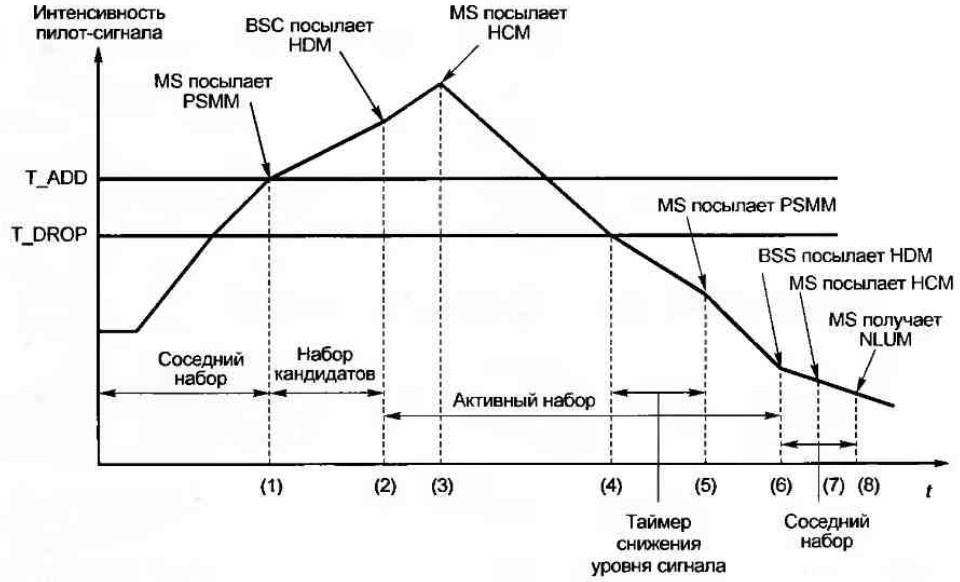


Рис. 2.16. Пример использования пороговых значений при изменении состояния пилот-сигнала

Мобильная станция следит за установленным T_TDROP для каждого пилота-сигнала в активном наборе и наборе кандидатов. Она запускает таймер всякий раз, когда интенсивность соответствующего пилота-сигнала становит-

ся меньше заданного порога. Мобильные станции сбрасывают и отключают таймер, если интенсивность соответствующего пилот-сигнала превышает порог. Когда пилот-сигнал соседнего набора или набора остальных пилот-сигналов превышает T_ADD (рис. 2.17, точка 1), мобильная станция переводит пилот-сигнал в набор кандидатов и передает PSMM базовой станции. Когда интенсивность пилот-сигнала в наборе кандидатов увеличивается и достигает уровня сигналов активного набора (рис. 2.17, точка 2), сигнал PSMM посылается базовой станции, если выполняется условие

$P_c - P_a >$ T_COMP×0,5 дБ (рис. 2.17, точка 3),

где P_c — интенсивность сигнала в наборе кандидатов; P_a — интенсивность сигнала в активном наборе.

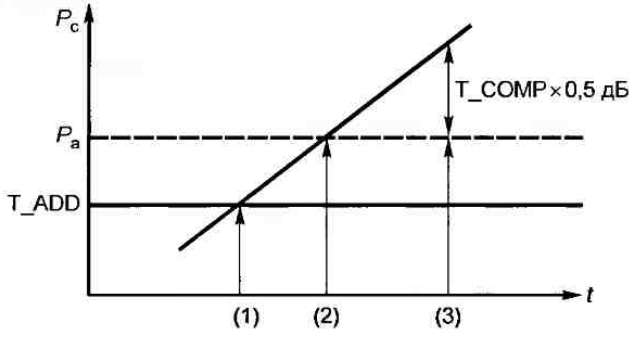


Рис. 2.17. Продвижение пилот-сигнала от набора соседних или остальных к активному набору

2.5.3. Процедура совмещенного мягкого хэндовера

Отметим, что различают два типа хэндовера по характеру управления:

1. Управляемый базовой станцией (MAHO — Mobile Assisted Handover), при котором мобильная станция выполняет измерение интенсивности сигнала и передает эти данные на базовую станцию.

2. Управляемый мобильной станцией (MCHO — Mobile Controlled Handover), при котором уровень сигналов от разных базовых станций принимается мобильной станцией. Она же принимает решение, где и какой хэндовер ей необходим.

Ниже рассматривается метод MAHO.

Мобильная станция выполняет измерение интенсивности сигналов, получаемых от соседних базовых станций по пилотным каналам (Pilot Channel — PICH), и анализирует сообщения, содержащие данные о тех PICH, в которых величина интенсивности пересекла интересующие нас пороговые значения —

в данном случае два пороговых значения. Результаты измерений позволяют определить две категории PICH:

- PICH, в которых величина интенсивности сигнала достаточна для использования в системе передачи сигналов;
- PICH, в которых величина интенсивности сигнала мала, и они не могут быть использованы для передачи сигналов.

Эти пороговые значения образуют гистерезисную петлю, обеспечивающую устойчивость рассматриваемого процесса. Сказанное означает, что порог оценки низкой интенсивности уровня несколько выше порога высокой интенсивности.

Основываясь на полученной информации, мобильная станция может добавлять или удалять PICH в активном наборе.

Как указывалось ранее, пилот-сигналы от множества базовых станций, различных секторов антенны или сигналы, проходящие по множеству путей, могут объединяться в один сигнал с помощью RAKE-приемников. Тогда оценка пилот-канала идет по суммарному значению объединенного потока от данной станции.

Динамические пороги мягкого хэндовера

Как правило, мягкий хэндовер улучшает характеристики системы, но он может в некоторых ситуациях отрицательно воздействовать на пропускную способность системы и сетевые ресурсы. Для прямых линий связи при чрезмерно частом хэндовере уменьшается количество свободных линий, что занимает больше сетевых ресурсов. Корректировка параметров хэндовера на базовых станциях не всегда решает эти проблему.

Некоторые области в соте получают только слабые пилот-сигналы (требующие более низких порогов хэндовера), а другие области получают несколько сильных и доминирующих пилот-сигналов (требующих более высоких порогов передачи вызова). Для того, чтобы добавлять в активный набор свободные пилот-сигналы, используются следующие принципы, основанные на динамическом пороге (рис. 2.18):

- мобильная станция обнаруживает пилот-сигнал, который пересекает данный статический порог T1. В этом случае порог измеряется отношением (E_c/N_0);
- при пересечении порога T1 пилот-сигнал (точка 1) переводится в список кандидатов, и начинается более частая проверка пилот-сигналов на совпадение с величиной T2;
- сравнение с величиной порога T2 (точка 2) позволяет определить, достаточна ли величина измеряемого сигнала, чтобы присоединить его к активному набору (см. порог T_COMP);

– условием выбора нового канала является неравенство

$$10\log P_{cj} \geq \max\left\{k_1 10\log\left(\sum_{L=1}^{N_A} P_{ai} + \Delta P_{T1}\right)\right\},$$

где P_{cj} — интенсивность выбираемого пилот-сигнала; P_{ai} — интенсивность i-го пилот-сигнала в активном наборе; N_A — число пилот-сигнала в активном наборе, k_1 и ΔP_{T1} — задаваемые системные параметры, регулирующие данные для конкретной системы.

Когда величина интенсивности сигнала в PICH активного набора мала, то добавление PICH даже со слабым уровнем улучшает рабочие характеристики. Однако, когда есть один PICH или PICH с доминирующим уровнем сигнала, добавление дополнительного PICH со слабым уровнем сигнала не улучшит рабочие характеристики сети, но будет использовать ресурсы сети. Динамические пороги мягкой передачи вызова уменьшают и оптимизируют сетевое использование ресурса.

Действия мобильной станции при использовании динамической мягкой передачи вызова (мягкого хэндовера) следующие (рис. 2.18):

– После обнаружения того, что в сети присутствует PICH с величиной отношения E_b/N_0 выше T2, мобильные станции передают сообщение об этом в сеть. Сеть занимает ресурсы передачи вызова и передает команду демодулировать сигнал PICH с величиной отношения E_b/N_0 выше T2. Пилот-канал 2 добавляется к активному набору мобильной станции.

– Когда интенсивность пилот-сигнала в PICH (пилот-сигнал 1) уменьшается ниже динамического порога T3, процедура хэндовера удаляет PICH и возвращает его в набор кандидатов. Порог T3 — функция полной энергии всех пилот-сигналов в активном наборе. При удалении канала из активного набора общая мощность активных сигналов снижается. Мощность пилот-сигнала 1 продолжает падать и, если она снижается ниже статического порога T4, PICH удаляется из набора кандидатов. Сообщение о PICH, мощность передачи которого понижается ниже порога (например, T3 и T4), передается обратно к сети только тогда, когда это состояние сохраняется в течение заданного периода времени. Это учитывается с помощью таймера, который предотвращает передачу сообщения в случае вре́менных колебаний уровня мощности.

Рис. 2.18 иллюстрирует временну́ю диаграмму мягкой передачи вызова с использованием динамических порогов в ситуации, когда мобильная станция покидает обслуживающую базовую станцию (пилот-канал 1) в направлении к новой базовой станции (пилот-канал 2). Комбинация статических и динамических порогов (по сравнению с только статическими порогами) позволяет в результате уменьшить время и использование ресурса при мягкой передаче вызова.

Рассмотрим детально рис. 2.18.

1. Когда величина интенсивности сигнала в пилот-канале 2 достигает порога T1, мобильная станция перемещает его в набор кандидатов.

2. Когда величина интенсивности сигнала в пилот-канале 2 превышает динамический порог T2, мобильная станция сообщает об этом сети.

3. Мобильная станция получает команду «добавить пилот-сигнал 2 к активному набору».

4. Величина интенсивности сигнала в пилот-канале 1 понижается ниже T3.

5. Таймер хэндовера для пилот-сигнала 1 исчерпывается. Мобильная станция сообщает о его интенсивности сети.

6. Мобильная станция получает команду «удалить пилот-канал 1».

7. Таймер хэндовера исчерпывается после того, как величина интенсивности сигнала в пилот-канале 1 понизился ниже порога T4.

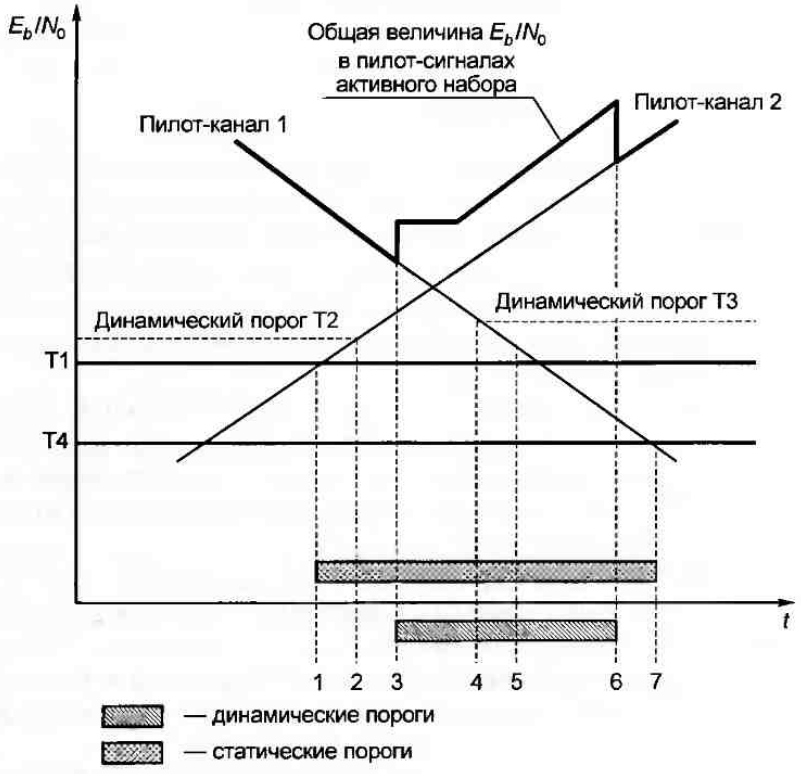


Рис. 2.18. Процедура хэндовера при использовании динамических порогов

Обмен сигналами при процедуре мягкого хэндовера

Одно из главных преимуществ системы CDMA — способность мобильных станций устанавливать связь более чем с одной базовой станцией в течение одного и того же вызова. Эта функциональная возможность позволяют сети CDMA выполнить мягкий хэндовер. При мягком хэндовере управляющая первичная базовая станция координирует свои действия с другими базовыми станциями. Каналы добавляются или удаляются из вызова. Это позволяет базовым станциям (общим количеством не свыше трех) получать/передавать пакеты речи от/к единственной мобильной станции для единственного вызова.

Процедура мягкого хэндовера повторяет процедуру жесткого хэндовера (см. описание рис. 1.16). Исключение составляет заключительный этап. При мягком хэндовере подключение новой станции BTS2 происходит до отключения текущей BTS1. Одновременная работа обеих станций в процессе хэндовера улучшает характеристики речевого тракта.

2.6. Управление мощностью

CDMA — система чувствительная к взаимным помехам, поскольку все мобильные станции передают на одной и той же частоте. Внутренняя интерференция, возникающая в пределах системы, играет критическую роль при определении пропускной способности и качества речи в этой системе. Мощность, излучаемая каждой мобильной станцией, должна управляться в целях ограничения взаимных помех. Однако уровень мощности должен удовлетворять показателям качества речи.

Во время движения мобильной станции внешняя радиосреда изменяется непрерывно из-за медленных замираний, затенений, внешних помех и других факторов. Цель управления мощностью — ограничить передаваемую мощность прямых и обратных радиоканалов, постоянно поддерживая их качество при всех условиях внешней среды.

В базовой станции интерференция (помехи) по обратной линии (от мобильной станции к базовой) связи более критичны, чем по прямой линии. Это происходит из-за невозможности идеально точного выделения индивидуального канала мобильной станции из общего потока (некогерентности связи). Поэтому управление мощностью обратной линии связи существенно для системы CDMA и обязательно предписывается стандартом.

Управление мощностью также необходимо в системах CDMA для того, чтобы решить проблему «ближний–дальний». Целью решения проблемы «ближний–дальний» в системе CDMA является гарантия того, что все мо-

бильные станции получают сигнал одной и той же мощности, которая выравнивается базовой станцией. Цель управления мощностью — определить минимально возможный уровень передачи, который позволяет линии связи обеспечивать определяемые пользователем характеристики:

– коэффициент появления битовых ошибок (BER — Bit Error Ratio);
– частоту появления ошибок в кадре (FER — Frame Error Rate);
– скорость, частоту сброса вызова, зону покрытия.

Чтобы обеспечить определенные пользователем характеристики линии связи, мобильные станции, которые ближе к базовой станции, должны передавать меньшую мощность, чем те, которые находятся далеко от станции.

Качество речи связано с частотой появления ошибок в кадре (FER — Frame Error Rate) на прямой и обратной линиях связи. FER определяется как отношение количества кадров, принятых с ошибками, к общему числу переданных и в значительной степени характеризуется отношением $(E_b/N_0)^*$, а также зависит от скорости передвижения транспортного средства, местных условий распространения радиосигналов, распределения каналов между работающими мобильными станциями. Этот параметр прямо характеризует качество речи в системе CDMA.

Рекомендованный диапазон характеристик:

– для FER — 0,2–3 % (оптимальный уровень мощности достигается, когда FER равен 1 %);
– максимальная длина пакета ошибок — 3–4 кадра (оптимальное значение пакета ошибок — 2).

2.6.1. Управление мощностью обратной линии связи

Управление мощностью обратной линии связи (от мобильной станции к базовой) касается каналов доступа и обратных каналов трафика. Оно используется для предоставления линии связи при исходящем вызове и реакции на значительные колебания пути распространения сигналов при передвижении мобильной станции. Управление мощностью обратного канала связи включает в себя управление мощностью по открытому циклу (также известное как автономное регулирование мощности) и управление мощностью по замкнутому циклу.

При управлении мощностью по открытому циклу мобильная станция сама определяет уровень мощности передачи, измеряя уровень мощности сигна-

---

* E_b/N_0 (energy-to-spectral ratio) — отношение E_b/N_0 — показатель помехоустойчивости канала связи, равный отношению энергии сигнала, приходящейся на один бит — E_b (Дж/бит) к спектральной плотности шума N_0 (Вт/Гц).

лов, поступающих по прямой линии (от базовой станции к мобильной). При этом предполагается, что потери на передачу в обоих направлениях равны.

Управление мощностью по замкнутому циклу предполагает измерение базовой станцией уровня мощности, принятой от мобильной станции, и выравнивание этого уровня по управляющему каналу. Оно включает в себя управление мощностью по внутреннему циклу и управление мощностью по внешнему циклу.

Управление мощностью обратной линии связи по открытому циклу

Управление мощностью по открытому циклу базируется на том принципе, что чем ближе мобильная станция к базовой станции, тем меньшую мощность необходимо передавать по сравнению с мобильной станцией, которая находится дальше от базовой станции или находится в зоне замирания.

Мобильная станция корректирует передачу мощности, основываясь на полной мощности, полученной в полосе 1,23 МГц (то есть, энергии пилот-сигналов, сигналов оповещения, синхронизации и каналов трафика). Оценка мощности включает мощность, полученную от всех базовых станций *на прямых каналах линии связи*. Если полученная мощность высока, мобильная станция уменьшает передачу мощности. С другой стороны, если полученная мощность низка, мобильная станция увеличивает передачу мощности.

При управлении мощностью по открытому циклу базовая станция не включается в цикл управления. Мобильная станция сама определяет начальную мощность, переданную по каналам доступа и трафика, используя управление мощностью по открытому циклу.

Большой динамический диапазон регулирования в 80 децибелов позволяет обеспечить способность защиты против замираний.

Главная цель в системах CDMA состоит в том, чтобы передавать мощность только достаточную для требуемого вида работы. Если передаются сигналы мощности большей, чем необходимая, мобильная станция становится глушителем других мобильных станций. Поэтому мобильная станция пытается связаться с базовой станцией, сначала передавая сигналы очень малой мощности. При этом ключевое правило состоит в том, что мобильная станция передает сигналы мощности, обратно пропорциональные тем, которые получает. При получении сильного пилот-сигнала от базовой станции, мобильная станция передает обратно слабый сигнал. Сильный сигнал, полученный мобильной станцией, указывает на малые потери распространения по прямой линия связи. Предполагается, что те же самые потери будут на пути по обратной линии связи. Поэтому от мобильной станции можно передавать сигнал низкой мощности, который требуется для компенсации таких потерь. Со-

ответственно, при получении слабого пилота-сигнала от базовой станции, мобильная станция передает назад сильный сигнал. Слабый сигнал, полученный мобильной станцией, указывает на высокие потери распространения по прямой линии связи. И от мобильной станции требуется высокий уровень мощности.

Процесс управления мощностью заключается в посылке от мобильной станции сигнала на изменение мощности передачи. Подтверждением получения этого сигнала являются результаты измерений мощности прямых каналов.

В целом процесс передачи одного сообщения и получения реакций в виде изменения мощности называется *попыткой доступа* (*access attempt*). Попытка доступа — это последовательность нескольких запросов на доступ. Каждый запрос в попытке доступа есть *проба доступа* (*access probe*). Мобильная станция передает одно и то же сообщение в каждой пробе доступа. Проба считается успешной, если в течение определенного временного интервала от сети поступит сигнал подтверждения (разрешения доступа к сети). Проба доступа — это короткий пакет, передаваемый мобильной станцией по каналу доступа. Каждая попытка доступа состоит из проб доступа, которые передаются по тому же самому каналу доступа (рис. 2.19).

Каждая проба доступа содержит преамбулу канала доступа и капсулу (message capsule) канала доступа длиной от 3 до 16 кадров и представляет собой сообщение фиксированного формата, состоящее из информационной последовательности и битов заполнения (если они необходимы). В пределах попытки пробы доступа сгруппированы в последовательность проб доступа. Каждая последовательность проб доступа состоит не менее чем из 15 проб.

Существует две причины, которые могут помешать мобильной станции получить подтверждение после передачи пробы:

1. Переданный уровень мощности мог быть недостаточным. В этом случае помогает решить проблему стратегия увеличения шага наращивания мощности.

2. Может возникнуть конфликт из-за случайного занятия канала доступа несколькими мобильными станциями. В этом случае случайное время ожидания минимизирует вероятность будущего конфликта.

В качестве подтверждения мобильная станция получает от базовой станции по каналу вызова PCH параметры доступа, которые позволяют ей выполнить алгоритм управления мощностью.

Параметры доступа следующие:

– номер канала доступа;

– начальное смещение мощности (P_0);

– размер шага наращивания мощности (ΔP);

– число проб доступа в одной попытке доступа (n);
– случайное время (RT — Random Time);
– случайный интервал между попытками доступа (RS — Random Sequence);
– время ожидания ответа на пробу доступа (TA — Time Access).

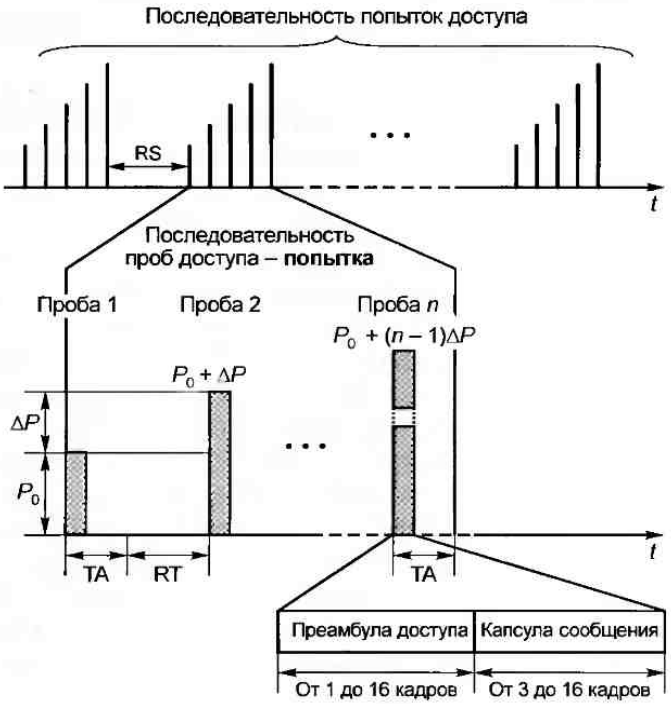


Рис. 2.19. Последовательность попыток доступа при управлении мощностью по открытому циклу

Алгоритм управления мощностью состоит в том, что в каждой последующей пробе доступа уровень мощности дискретно увеличивается на величину ΔP (размер шага наращивания мощности), как показано на рис. 2.19.

Текущее значение мощности определяется соотношением

$$P = P_0 + \Delta P(r - 1),$$

где P_0 — начальное смещение (исходное значение); r — номер пробы в одной попытке доступа; ΔP — шаг наращивания мощности.

Пробы доступа передаются до тех пор, пока не будет получен ответ на запрос или закончится контрольное время, отведенное для доступа.

Текущее значение мощности P_x определяется формулой:

$$P_x = \Delta R_x + \left(P_{\text{ном}} - \sum_{i=0}^{15} \Delta_i P \right) + P_0,$$

где ΔR_x — разность между уровнем мощности на приеме и текущим измерением; $P_{\text{ном}}$ — номинальная мощность для проведения коррекции; P_0 — исходная величина уровня передачи; $\Delta_i P$ — значение ΔP при i-ой пробе.

$P_{\text{ном}}$, P_0 — это системные параметры, указанные в сообщении параметров доступа. Они получаются мобильной станцией до начала передачи. Эти параметры имеют следующие взаимно ограничивающие диапазоны:

$P_{\text{ном}}$ — от –8 до 7 дБ;

$\left(P_{\text{ном}} - \sum_{i=0}^{15} \Delta_i P \right)$ — от –24 до 7 дБ;

$\Delta_i P$ — от 0 до 7 дБ при номинальном значении 1 дБ;

P_0 — от –16 до 15 дБ при номинальном значении равном 0;

$P_{\text{ном}} - \sum_{i=0}^{15} \Delta_i P$ — значение, учитывающее предыдущие коррекции для получения мощности передачи P_x на основании полученного при текущем измерении значения мощности ΔR_x.

P_0 обычно устанавливается на 0, но эта величина может быть использована для коррекции величины уровня средней мощности в конкретных условиях.

Если в результате обработки данных текущих значений вырабатывается сообщение о начале и завершении хэндовера, то значения $\left(P_{\text{ном}} - \sum_{i=0}^{15} \Delta_i P \right)$ изменяются, мобильная станция использует значения, содержащиеся в этих сообщениях.

При установлении соединения, базируясь на информации, полученной из каналов пилот-сигнала, синхронизации и каналов вызова, мобильная станция делает попытки обращения к системе через один из нескольких каналов доступа. В состоянии поиска доступа мобильная станция не назначает прямой канал трафика (который содержит биты регулирования мощности), а инициирует свою настройку мощности, необходимую для работы.

Главный недостаток метода управления мощностью по открытому циклу заключается в том, что статистика распространения по обратной линии оценивается по статистике распространения по прямой линии связи. Но так как две линии связи не всегда являются коррелированными, при использовании такой процедуры могут возникать существенные ошибки. Однако эти ошибки

будут скорректированы, когда мобильная станция занимает прямой канал трафика и механизм управления мощностью по замкнутому циклу становится активным.

Основные недостатки при управлении мощностью прямого канала по открытому циклу:

- предположение о близких значениях характеристик прямых и обратных линий связи;
- использование общей получаемой мощности, которая включает мощность от других базовых станций;
- слишком значительное время ответа (~30 мс) для того, чтобы противостоять быстрым замираниям из-за многолучевости.

Управление мощностью обратной линии связи по замкнутому циклу

Источники, на которые воздействуют замирания от многолучевости, требуют намного более быстрого регулирования мощности, чем управление мощностью по открытому циклу. Дополнительные корректировки мощности, которые требуются для компенсации потерь замирания, вырабатываются механизмом управления мощностью по замкнутому циклу обратных линий связи. Он имеет время ответа 1,25 мс для шага регулировки 1 дБ и динамический диапазон 48 дБ (покрываемый за 3 кадра). Более быстрое время ответа дает механизму управления мощностью по замкнутому циклу возможность полностью заменить в практических приложениях механизм управления мощностью по открытому циклу. Совместное применение этих двух независимых механизмов регулирования мощности охватывает динамический диапазон, по крайней мере, 80 дБ. Управление мощностью по замкнутому циклу обеспечивает коррекцию управления мощностью по открытому циклу. На канале трафика мобильные и базовые станции совместно участвуют в управлении мощностью по замкнутому циклу.

Механизм управления мощностью по замкнутому циклу *обратной линии связи* состоит из двух внутренних циклов: внутреннего регулирования мощности и управления мощностью по внешнему циклу. Управление мощностью по внутреннему циклу сохраняет *мобильной станции* уровень мощности наиболее близкий к установленному отношению (E_b/N_0), затем управление мощностью по внешнему циклу корректирует мощность передачи *базовой станции* по отношению E_b/N_0 для данной мобильной станции.

Для понимания механизма управления мощностью по замкнутому циклу рассмотрим структуру прямого канала трафика и принципы его работы. Подканал регулирования мощности прямого канала трафика непрерывно передает информацию. Этот подканал достигает скорости 800 битов регулирования

мощности в секунду. Следовательно, бит регулирования мощности (0 или 1) передается каждые 1,25 мс. Нулевые биты указывают мобильной станции, что она должна увеличить свой средний уровень мощности на выходе, тогда как единица указывает мобильной станции, что надо уменьшить ее выходной уровень мощности.

20-миллисекундный кадр образуется 16-ю временными интервалами равной продолжительности (рис. 2.20). Эти временные интервалы длительностью 1,25 мс называются *группами управления мощностью* (PCG — Power Control Group). Таким образом, кадр имеет 16 PCG. Перемежитель канала трафика в тракте передачи обратного потока выходных данных на входе оборудован фильтром времени, который допускает передачу или удаление некоторых символов.

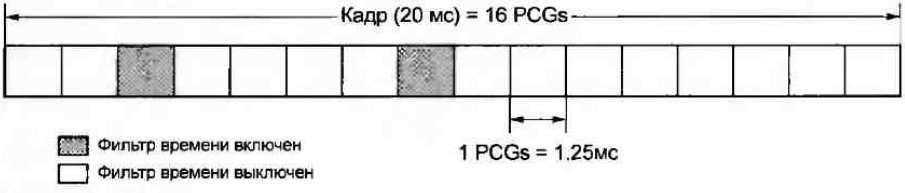


Рис. 2.20. Группы управления мощностью

Табл. 2.7 указывает число групп управления мощностью, которые передаются при различных скоростях передачи кадра.

Таблица 2.7. Количество групп управления мощностью в зависимости от скорости в канале

Скорость передачи кадров	Скорость в канале (кбит/с)	Число передаваемых PCG
Полная	9,6	16
1/2	4,8	8
1/4	2,4	4
1/8	1,2	2

Величина вставок (gated-on) и исключений (gated-off) групп определяется генератором случайных чисел (DBR — Data Burst Randomizer). На базовой станции приемник обратной линии связи оценивает полученную интенсивность сигнала, измеряя E_b/N_0 в интервале времени каждой группы управления мощностью — 1,25 мс:

– если интенсивность сигнала превышает заданное значение, бит регулирования мощности принимает значение 1 (снизить мощность);

– иначе мобильной станции передается 0 по подканалу управления мощностью прямой линии связи (увеличить мощность).

Аналогично передаче по прямой линии связи (от базовой станции к мобильной), подканалы обратной линии связи организованы в кадры длительностью 20 мс. Каждый кадр разделяется на 16 PCG. Передача бита регулирования мощности происходит по прямому каналу трафика (от базовой станции к мобильной) с определенным запаздыванием в группах управления мощностью после соответствующей оценки интенсивности сигнала. Например, если интенсивность сигнала по прямому каналу трафика определена в группе управления мощностью № 2 (PCG № 2) кадра обратной линии связи (от мобильной станции к базовой), то нужно передать соответствующий бит регулирования мощности в группе управления мощностью № 4 (PCG № 4) в кадре прямой линии связи (рис. 2.21). Как только мобильная станция получит и обработает прямой канал линии связи, она извлекает биты регулирования мощности из прямого канала трафика. Эти биты регулирования мощности позволяют мобильной станции точно подстраивать мощность передачи по обратной линии связи.

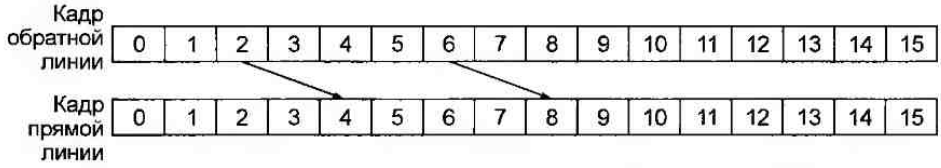


Рис. 2.21. Размещение групп управления мощностью в прямой и обратной линиях связи

Базируясь на применении битов регулирования мощности, получаемых от базовой станции, мобильная станция либо увеличивает, либо уменьшает уровень передачи мощности в обратном канале трафика. Это необходимо для того, чтобы приблизиться к заданному значению E_b/N_0 или установленной норме частоты ошибок в кадре (FER — Frame Error Rate). Каждый бит мощности производит изменение на 1 дБ мощности передачи мобильной станции, то есть пытается приблизить измеряемое значение E_b/N_0 к его расчетному значению. Обратим внимание на то, что это действие может быть не всегда успешным, поскольку значение уровня шума N_0 изменяется. Поэтому, чтобы добиться желаемого E_b/N_0, может потребоваться дальнейшая корректировка. Базовая станция с помощью мобильной станции может изменить только E_b и отношение E_b к N_0. Базовая станция измеряет E_b/N_0 16 раз в каждом 20-миллисекундном кадре. Если измеренное отношение больше, чем E_b, которе дает заданное значение отношения E_b/N_0, базовая станция сообщает мо-

бильной станции, что надо уменьшить мощность E_b на 1 децибел. В противном случае базовая станция указывает мобильной станции, что надо увеличить мощность на 1 децибел

На рис. 2.22 показан процесс изменения мощности E_b для достижения заданного отношения E_b/N_0.

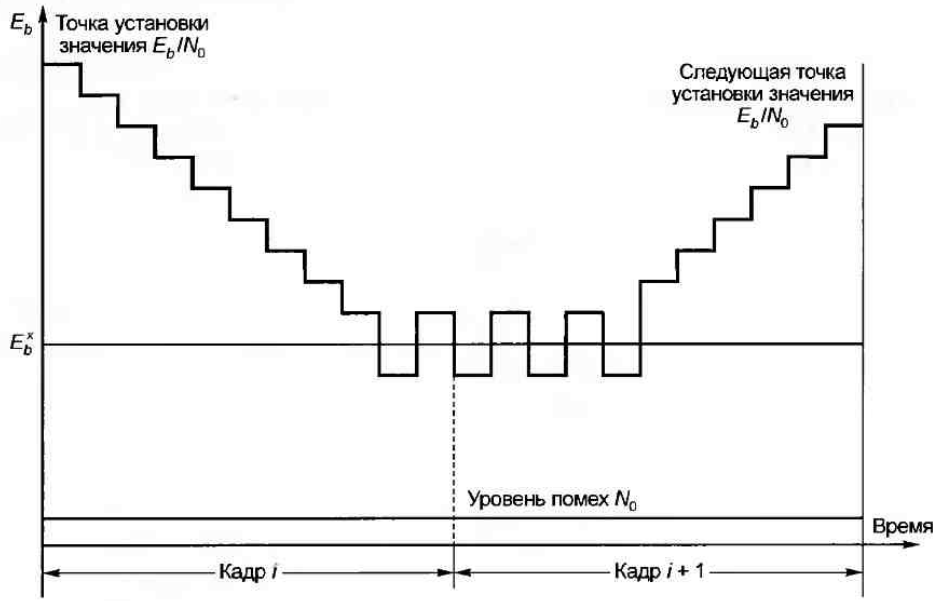


Рис. 2.22. Управление мощностью обратного канала по замкнутому циклу

Алгоритм управления мощностью обратной линии (от мобильной станции к базовой) по замкнутому циклу приведен на рис. 2.23. Последовательность его выполнения следующая:

1. Устанавливаются заданные значения максимального уровня сигнала $E_{b\max}$ и $E_{b\min}$ (оператор 1).

2. Принимаются от мобильной станции в группе управления мощностью результаты измерений уровня (оператор 2).

3. Определяется текущее значение уровня (оператор 3) и сравнивается с предыдущим. В зависимости от результата сравнения выбирается последовательность дальнейших действий.

4. Проверяется, не больше ли оно максимально разрешенного уровня (текущее $E_b > E_{b\max}$) (оператор 4).

5. Если больше, то мощность уменьшается на 1 дБ (оператор 5). В противном случае базовая станция указывает мобильной станции, что надо уве-

личить мощность на 1 дБ (оператор 6). В обоих случаях после выполнения операторов переход к п. 2.

6. Осуществляется сравнение текущего уровня сигнала с минимальным (оператор 7).

7. Если оно меньше, то переход к п. 8, если нет, то передается команда к мобильной станции «уменьшить E_b на 1 дБ» (оператор 8) и происходит переход к п. 2.

8. Включается таймер, который позволяет определить устойчивое снижение уровня от кратковременного замирания сигналов (оператор 10).

9. Если время таймера истекло, то мобильной станции передается команда «увеличить E_b на 1 дБ» (оператор 11), и осуществляется переход к п. 2.

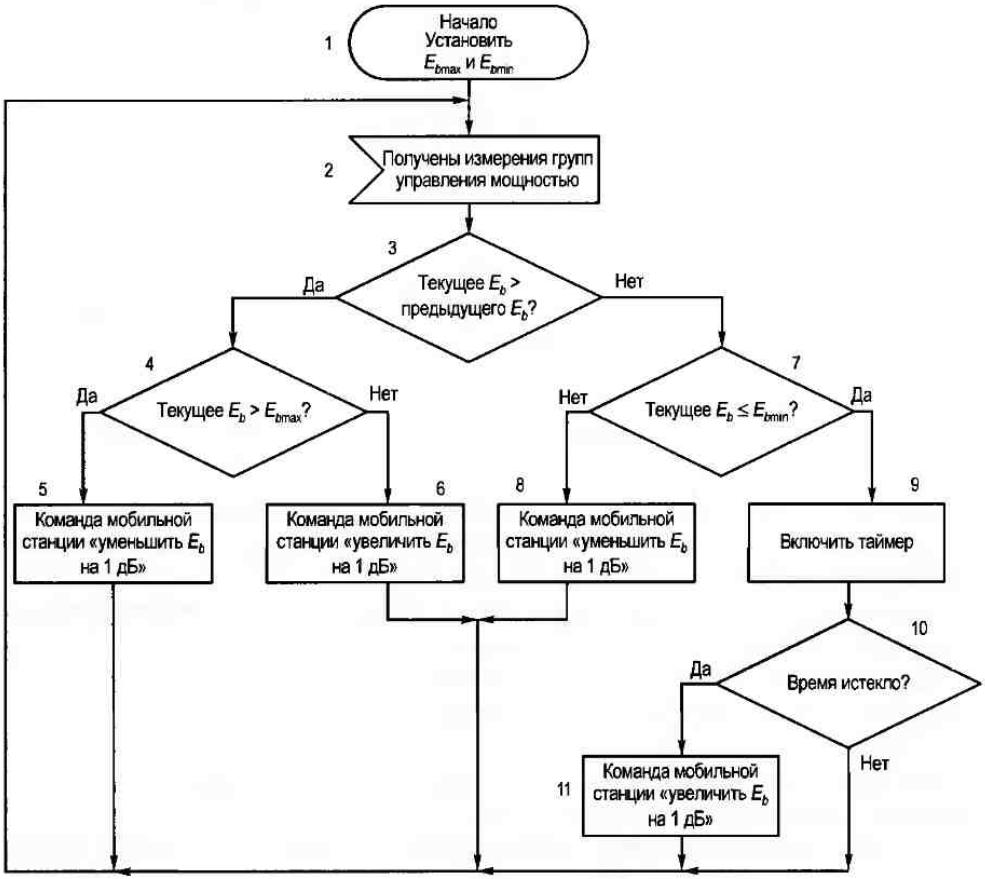


Рис. 2.23. Алгоритм управления мощностью обратной линии по замкнутому циклу

2.6.2. Управление мощностью прямой линии связи

Основная цель процесса управления мощностью прямой линии связи (FLPC — Forward Link Power Control) — уменьшение интерференции на линии связи от базовой станции к мобильной. Этот процесс играет бóльшую роль, чем управление по обратной линии, поскольку мощность сигналов, излучаемых базовой станцией, не только ограничивает интерференцию в пределах соты, но и сокращает влияние на другую соту или сектор. Поэтому на базовой станции для управления мощностью вместо измерения отношения E_b/N_0 применяется измерение частоты появления ошибок в кадре (FER). Частота появления ошибок в кадре — одна из наиболее важных характеристик линии связи. Напомним, что она определяется отношением числа неправильно принятых кадров к общему числу переданных.

Соотношения между E_b/N_0 и соответствующей *FER* нелинейны и изменяются при изменении скорости мобильного средства, среды распространения радиосигнала. Значения E_b/N_0 с увеличением скорости мобильного средства ухудшаются. Лучшие рабочие характеристики соответствуют стационарному транспортному средству, где доминирует белый гауссов шум.

Обратим внимание на то, что *значение уровня шума* N_0 изменяется. Поэтому может потребоваться более частая корректировка, чтобы добиться желаемого E_b/N_0. Базовая станция с помощью мобильной станции может изменить только E_b, и отношение E_b/N_0. Алгоритм процесса управления мощностью прямых линий показан на рис. 2.24.

Этот процесс делает попытки установить минимальную мощность для каждого канала трафика, который мог бы поддерживать минимальную *FER* на мобильной станции. Последняя непрерывно измеряет *FER* в прямом канале и периодически извещает об этом измерении базовую станцию. Рассмотрим последовательность действий алгоритма, представленного на рис. 2.24.

1. На баовой станции устанавливается порог FER_T, выше которого не может быть значение частоты появления ошибок.

2. После получения результатов измерения FER_m на базовой станции сравнивается полученное значение FER_m с пороговым FER_T.

3. Если $FER_m > FER_T$, то выполняется п. 4. В противном случае — п. 5.

4. Мобильной станции передается команда «уменьшить мощность сигнала на 1 дБ», после чего процесс переходит к п. 2.

5. Включается таймер, чтобы отличить врéменное ухудшение *FER* от ее устойчивого ухудшения.

6. Если время не истекло, то процесс переходит к выполнению п. 2. Если время истекло, то выполняется п. 7.

7. Передается команда к мобильной станции «увеличить мощность сигнала на 1 дБ», процесс переходит к выплнению п. 2.

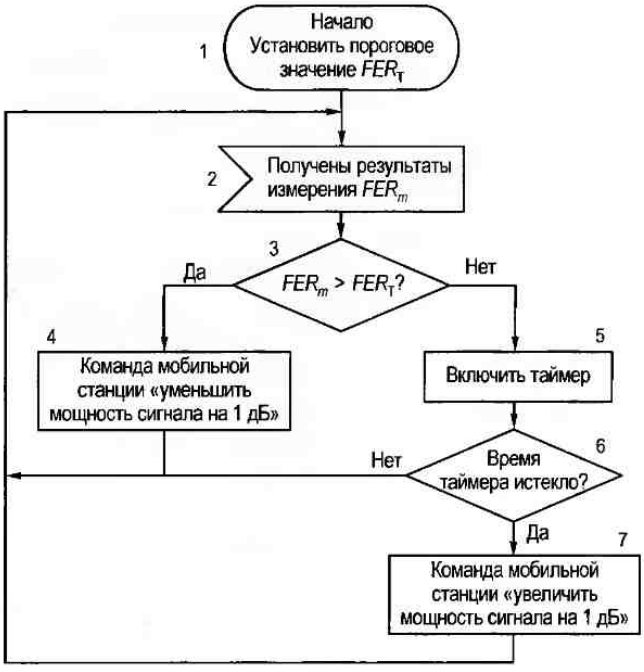


Рис. 2.24. Алгоритм управления мощностью прямой линии на базовой станции

Базовая станция также ограничивает динамический диапазон мощности таким образом, чтобы передаваемая мощность никогда не превысила максимального значения, которое могло бы вызвать чрезмерную интерференцию, или не снижалась ниже минимального значения, требуемого для адекватного качества речи.

2.7. Борьба с многолучевостью

При многостанционном доступе с кодовым разделением используется раздельная обработка отраженных сигналов, приходящих с разными задержками, и последующее их весовое сложение, что значительно снижает отрицательное влияние эффекта многолучевости. При раздельной обработке лучей в каждом канале приема на базовой станции используется 4 параллельно и независимо работающих коррелятора, а на подвижной станции — 3 коррелятора. Приемник с несколькими каналами приема и обработки сигнала получил название RAKE-приемника. Он имеет 4 канала приема: в трех каналах одно-

временно обрабатываются три наиболее сильных сигнала, в четвертом канале постоянно осуществляется поиск сигнала с более высоким уровнем. При этом опорный сигнал подается на разные корреляторы с небольшим сдвигом во времени, соизмеримым с разницей по времени при прохождении радиоволн по различным траекториям. Выходные сигналы корреляторов суммируются. Таким образом, если уровень сигнала свертки от одного из многолучевых сигналов в текущий момент времени оказывается равным нулю (в результате интерференционной картины распределения поля), то свертка от задержанного сигнала будет отличной от нуля. Таким образом, в системе с кодовым разделением каналов реализуется метод временно́го разнесения приема. Многолучевое распространение радиосигналов, с которым приходится бороться всем стандартам сотовой связи, в данном случае становится помощником. В случае построения фиксированных сетей многолучевые отражения позволяют снизить требования к уровню сигнала, приходящего к абонентской станции.

Глава 3

СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ

3.1. Стандарты третьего поколения

3.1.1. Пути эволюции систем третьего поколения

Многие из будущих приложений мобильных систем третьего поколения (3G) обнаруживаются по мере разработки стандартов этого поколения [105]. В первую очередь разрабатываются и внедряются такие услуги, как доступ к беспроводным услугам Интернета, постоянный доступ к Сети, диалоговому видео и др.

Термин 3G, означающий третье поколение, стал довольно неопределенным. Вначале положения о системах третьего поколения были определены достаточно точно в рамках стандартов. Они ставили целью обеспечить пользователям мобильной связи характеристики услуг не хуже, а возможно лучше, чем в системе ISDN при скорости обмена 144 кбит/с.

Некоторые первоначальные переходные от поколения 2G к 3G стандарты, такие как «Общая радиослужба пакетной передачи» (GPRS — General Packet Radio Service) и IS-95, могли обеспечивать характеристики, близкие к намеченным в 3G при некоторых оптимальных условиях. Например служба пакетной передачи предполагала скорость не более 115 кбит/с. Системы третьего поколения вначале не были предназначены для широкого использования из-за дороговизны терминалов и оборудования базовых станций.

Технологически увеличение скоростей реализуется несколькими способами: расширением используемого спектра и новыми методами модуляции, использующими сжатие данных при заданном частотном диапазоне. Например, новые методы модуляции заменяют традиционную двоичную систему системой с бóльшим значением одного разряда (амплитудно-фазовая модуляция).

Требования к системам 3G наиболее полно сформулированы в рекомендациях IMT-2000 Международным союзом электросвязи (МСЭ). Наиболее важные из них:

- глобальный роуминг;
- сочетание пакетной коммутации данных и коммутации каналов;
- эффективное использование спектра;
- открытая архитектура;
- обеспечение передачи речи, данных и мультимедийной информации;
- качество речи, сопоставимое с проводной связью;
- защита информации, сопоставимая с уже имеющейся системой в ТфОП/ISDN;
- совместная работа со спутниковыми системами;
- высокая скорость передачи данных;
- поддержка иерархической структуры сот (HCS — Hierarchical Cell Structure);
- поэтапный подход к повышению скорости передачи данных до 2 Мбит/с.

Эволюция сетей 3G шла по-разному в различных регионах, происходя по различным стандартам и технологическим направлениям (рис. 3.1).

В Европе преобладает тенденция разработки систем на основе CDMA, совместимых с GSM (в частности с японскими системами), но не предусматривается совместимость в глобальном масштабе.

В США имеется много сторонников эволюционного развития cdmaOne к системе cdma2000. При этом ни один из стандартов не предполагает взаимодействия с европейской и японской системами.

Операторы D-AMPS и GSM являются сторонниками дальнейшего развития систем на базе TDMA. В результате глобальный роуминг видится возможным только с использованием многорежимного телефона. Последнее требование особенно важно для поставщиков услуг, операторов и производителей аппаратуры. Они заинтересованы в том, чтобы предоставлять лучшие услуги (естественно, получая прибыли), но при этом сохранить доходы с уже вложенных средств (защита инвестиций). Поэтому наиболее подходящим является эволюционный путь развития. Один из многих вариантов [21, 65, 82, 83, 114, 128] такой эволюции показан на рис. 3.1. В связи с этим разрабатываемые стандарты должны предусматривать совместимость с их предшественниками. Конечная цель заключается в том, чтобы имеющиеся телефоны могли обслужить соединение при перемещении мобильной станции между сотами, базирующимися на старых и новых технологиях.

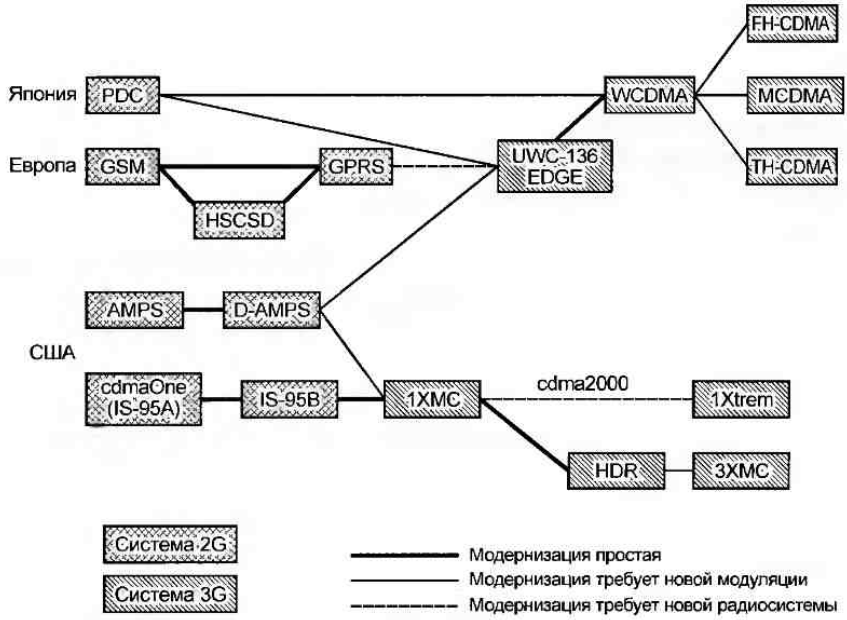


Рис. 3.1. Пути эволюции к системе 3G

AMPS	Advanced Mobile Phone Service	Усовершенствованная служба мобильной связи
cdmaOne (IS-95)		Система второго поколения, реализованная на базе стандарта IS-95
cdma2000		Название проекта стандарта, который разработан в рамках программы IMT-2000
D-AMPS	Digital AMPS	Цифровая усовершенствованная служба мобильной связи
EDGE	Enhanced Data rate for GSM Evolution	Технология увеличения скорости передачи данных в сетях GSM
FH-CDMA	Frequency Hopping CDMA	CDMA со скачкообразной перестройкой частоты
GPRS	General Packet Radio Service	Общая радиослужба пакетной передачи
GSM	Global System for Mobile Communication	Глобальная система подвижной связи
HDR	High Data Rate	Система CDMA с высокой скоростью передачи данных
HSCSD	Hight Speed Circuit Switched	Высокоскоростная передача данных с коммутацией каналов
MCDMA	Multi-Carrier CDMA	Многочастотный CDMA
PDC	Personal Digital Cellular	Персональная цифровая сотовая связь
UWC-136	Universal Wireless Communication IS-136	Универсальная беспроводная система связи
TH-CDMA	Time Hopping CDMA	CDMA с псевдослучайной перестройкой во времени
WCDMA	Wideband CDMA	Широкополосный CDMA
1XMC	CDMA 1X Multi Carrier	Гибридная технология, сочетающая частотное разделение с кодовым разделением каналов
1Xtreme		Высокоскоростная технология, развивающая IMT-2000
3XMC	CDMA 3X Multi Carrier	Гибридная технология, сочетающая многочастотное разделение с кодовым разделением каналов

В апреле 2007 г. Федеральным агентством связи РФ (Россвязь) проводился конкурс на право предоставления услуг подвижной радиотелефонной связи с использованием полос частот в трех диапазонах 1935–1950 МГц, 2010–

2015 МГц, 2125–2140 МГц. Это по сути явилось началом внедрения услуг 3G на территории России. Если рассмотреть сегодняшние прогнозы по внедрению систем 3G, то они сводятся к трем принципиальным моментам:

1. Системы, относящиеся к 3G, являются наиболее совместимыми с существующим оборудованием, дешевыми и имеют большие перспективы развития, поскольку в них вложены большие средства и имеется хорошая административная база.

2. Россия имеет уникальный шанс сразу перейти на широкополосную систему (наиболее вероятно — это система WiMAX, о которой будет сказано далее).

3. Система 3G и широкополосные системы имеют разные сектора применения на рынке услуг и могут существовать параллельно.

Рассмотрение доводов в защиту каждого из этих направлений выходит за рамки этой книги. Ниже приведены основные сведения о системах, охватываемых понятием систем 3G, и их характеристиках. Естественно, что эти системы развиваются стремительно во времени, и в ближайшее время можно ожидать новых свойств, например, повышения скоростей и расширения услуг до уровня, сравнимого с системами широкополосной мобильной связи.

3.1.2. IMT-2000

Работы по созданию систем 3G начались в 1992 г., когда стало ясно, что мобильные системы играют все более и более важную роль. Международная исследовательская группа предсказала, что через 10 лет мобильные телефоны составят конкуренцию стационарной сети [128], однако в некоторых странах это предсказание осуществилось несколько раньше.

Работы были начаты в проекте, который получил название FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication System — перспективная сухопутная мобильная телекоммуникационная система) [125]. Акроним был несколько неуклюжим даже по сравнению с другими принятыми терминами, так что МСЭ скоро принял немного более удобное название IMT-2000 (International Mobile Telecommunications for the year 2000 — Международная мобильная связь 2000).

Проект IMT-2000 ставил перед собой следующие цели:

- реализацию набора новых услуг (рис. 3.2);
- обеспечение мобильной связи со скоростью передачи данных выше 20 Мбит/с;
- освоение частотной области 2000 МГц, которую МСЭ хотел бы сделать доступной для новой технологии;
- достижение указанных целей к 2000 г.

Ни одна из этих задач не была полностью выполнена, но название закрепилось. Скорость данных, поставленная в качестве цели, в настоящее время достижима, но только при некоторых оптимальных условиях.



Рис. 3.2. Конвергенция различных технологий в IMT-2000

Наиболее важно, что не каждая страна сделала доступным запрошенный МСЭ частотный диапазон. Европа и ряд азиатских стран это сделали, но США пока не могут отвести для IMT-2000 весь запрашиваемый спектр. Технология IMT-2000 в США считается важной, и в перспективе отсутствие необходимой пропускной способности заставит США вступить на этот путь.

Проект FPLMTS [125] рассматривал только мобильную телефонную связь и мобильную передачу данных, IMT-2000, как предполагалось, охватывал все возможные применения беспроводной связи, в частности:

- беспроводные сети доступа и локальные вычислительные сети (LAN), которые могут обеспечить пользователям высокие скорости передачи данных на улице, в офисе и дома;
- связь через спутники и обращение к основным речевым службам и услугам передачи данных буквально из любой точки Земли, даже если они находятся вне области, охваченной сотовой сетью.

Вторая возможность — это мобильная спутниковая служба (MSS — Mobile Satellite Service) и глобальная мобильная персональная спутниковая связь (GMPCS — Global Mobile Personal Communication by Satellite).

Беспроводные сети IMT-2000 могли предоставить связь более бедным странам, впервые обеспечивая их более дешевым и быстрым способом совместного развития наземных и мобильных линий связи.

Теоретически, ориентируясь на использование всех типов беспроводных услуг по единственной системе радиосвязи, многочисленные пользователи могли бы приобретать только одно устройство. Они могли бы использовать мобильный телефон как домашний переносной телефон или даже делать вызовы через спутник посреди океана. Промышленность могла бы экономить средства за счет того, что составляющие устройство компоненты разрабатывались бы для одного типа технологии и могли быть легко использованы в различных странах.

Первоначально МСЭ надеялся создать единый стандарт универсальной системы подвижной связи, однако по прошествии времени стало ясно, что, несмотря на относительную несложность формулировки основных требований к системе 3G, весьма непростым вопросом оказалась разработка стратегии достижения этих требований. К 1999 году большинство этих идей было оставлено, когда были созданы первые прототипы оборудования IMT-2000.

Фиксированные беспроводные системы (беспроводный доступ и локальные сети) лучше всего работают на намного более высоких частотах, чем обычные мобильные телефоны.

Спутниковые телефоны являются более дорогими и имеют намного бóльшие размеры, чем те, которыми готово воспользоваться большинство людей. Беспроводные LAN получают развитие в некоторых областях, например, в беспроводном мобильном Интернете, однако реализация этих стандартов в рамках IMT-2000 маловероятна, поэтому IMT-2000 сегодня имеет наиболее эффективную цель — высокоскоростная передача данных по сотовой сети. Первоначально МСЭ определил только скорости данных для IMT-2000. Предложены три различных скорости, каждая из которых предназначена для передачи различного типа информации ISDN, а также стандарт на несущие частоты для основных сетей передачи речи.

Предлагаются следующие скорости:

- 144 кбит/с — та же самая скорость, что у ISDN-линии (базовый доступ). Этот тип линий может использоваться в движении, и там, где этот сервис не может быть реализован по обычной наземной сети (проводной или оптоволоконной);
- 384 кбит/с — эта скорость одна из ближайших реальных целей. Она соответствует каналу цифровой сети интегрального обслуживания H-скорости (H0), часто используемому для видеоконференцсвязи. Хотя передача видео возможна и на более низких скоростях, эта скорость считается минимально необходимой для обеспечения качества;
- 2,048 Мбит/с — скорость, которая может быть достигнута внутри здания при низкой мобильности пользователя (скорость перемещения объекта до 3 км/час). Она соответствует скорости доступа на первичной скоро-

сти (PRI) линии ISDN; обычно для этого используется кабель, несущий до 30 отдельных телефонных каналов до распределительного щита.

Идея использования высоких скоростей заключается в создании небольших пикосот (picocells), которые могли бы быть установлены в общественных местах, таких как вокзалы, залы прибытия и отправлении в аэропортах, давая людям возможность обращаться к высоким скоростям передачи данных.

Эти рекомендации по скоростям были предложены в 1992 году для служб, показанных на рис. 3.2, когда Интернет не был еще широко распространен вне академических и технических кругов. IMT-2000 предполагался для того, чтобы формировать только мобильную часть сети, дополняя наземную службу.

Когда Интернет нашел общедоступное и коммерческое применение, МСЭ понял, что Интернет стал одним из наиболее важных факторов использования технологии IMT-2000. Это повлекло за собой дополнительные требования для поддержания протоколов, связанных с сетью коммутации пакетов. Предварительно установленные скорости обмена данных, как и в цифровой сети интегрального обслуживания, остались.

3.1.3. Сервисные требования

Сейчас в индустрии связи ясны направления, по которым следует двигаться. Разработки систем третьего поколения стремятся объединить Интернет, телефонию и широковещательные средства обмена информацией в едином устройстве. Для того, чтобы этого достигнуть, система IMT-2000 должна в основном обеспечивать шесть широких классов обслуживания. Три сервисных класса уже существуют в некоторой степени на сетях 2G, в то время как имеются три новых класса, которые включают в себя мобильные мультимедийные службы. Указанные виды обслуживания описаны ниже.

Речь, голосовая почта

Эта услуга может быть предоставлена на скорости 4–32 кбит/с. Даже учитывая в будущем быстродействующую передачу данных, эта служба не может рассматриваться как новая услуга. Для рынка мобильной связи 3G сможет предложить качество вызова не лучше, чем хорошая стационарная телефонная сеть. Речевая почта также будет стандартна и, в конечном счете, интегрирована полностью с электронной почтой. Она может быть только дополнена компьютеризированным распознаванием голоса и синтезированной речью для передачи сообщений диктора.

Передача сообщений, коммутация пакетов

Данная услуга — дополнительно расширенная служба, объединенная с электронной почтой Интернет при скорости 9,6–14,4 кбит/с. В отличие от текстовых служб передачи сообщений и передачи коротких сообщений SMS, которые встроены в некоторые системы второго поколения, службы 3G обеспечивают почтовые текстовые вложения. Они будет использоваться для расчетов за услуги и для электронных продаж (покупок).

Коммутируемые данные

Этот класс услуг включает процедуры отправления документов по факсу. При этом необходимо подключение к телефонной сети с набором номера или к Интернету по сети коммутации каналов. Термин «коммутируемые данные» в 3G обычно обозначает информацию от любого изделия, которое не требует подключения к сети с коммутацией пакетов, а использует услуги сети ISDN. Предлагаемая скорость передачи этой услуги — 144 (64) кбит/с.

Мультимедиа средней скорости

Это, вероятно, будет самой популярной службой 3G. Скорость потока данных «сеть–пользователь» идеальна для Web-навигации, если предположить, что сеть к тому времени, когда системы 3G станут широко доступны, не изменится до неузнаваемости. Другие приложения включают совместную работу на компьютере, игры, определение местоположения с предоставлением карты местности, директивы передвижения от одной точки местности до другой и т.п. Предлагаемая скорость передачи этой службы — 128–384 кбит/с.

Мультимедиа высокой скорости

В настоящее время предлагается асимметричная работа такой службы со скоростью 384–2048 кбит/с. Этот класс может использоваться для очень быстродействующего доступа в Интернет, а так же для передачи по требованию видео высокой четкости и аудио (качественные CD). Другое возможное приложение — интерактивные (online) покупки для «неосязаемых» изделий, например «скачивание» отдельных музыкальных произведений или программ для мобильного компьютера.

Диалоговое мультимедиа высокой скорости

Этот класс услуг может использоваться для довольно высококачественной видеоконференцсвязи или видеофонов, а также для организации заочной конференции с помощью телевидения. Скорости передачи данных для рассматриваемых услуг показаны в табл. 3.1 [21, 114]. Хотя три из них требуют

коммутации каналов, что, вероятно, будет осуществляться с помощью замены реальных каналов виртуальными. Поскольку любая информация предоставляется в пакетах, включая речь, факс и видео, пакеты в виртуальном канале будут передаваться с учетом приоритета. Диалоговое мультимедиа высокой скорости гарантирует клиенту качество, за которое он заплатил, и в основном занимает неприоритетные каналы, когда они не используются. Классический пример занятия неприоритетных каналов — передача данных в течение промежутков (пауз) в разговоре, но существуют и другие. Другой пример: большинство процедур заочной конференции с помощью телевидения и передачи изображений посредством видеофона передают только те части изображений, которые изменились, а не постоянно все кадры, обеспечивая существенную экономию пропускной способности. Видеоряд при телепередаче кого-то, сидящего неподвижно в неизменяющейся комнате, может быть передан очень небольшим количеством данных. Хотя наблюдается всплеск передачи данных, как только кто-то (или что-то) начинает двигаться.

В настоящее время речь составляет самую большую долю трафика через мобильные сети. Передача сообщений, использование мультимедийных услуг и передача данных в настоящее время занимают меньший объем, но демонстрируют быстрый рост. Детальное исследование запросов клиентов показывает, что эти типы трафика, вероятно, продолжат рост до тех пор, пока почти каждый пользователь в пределах обслуживания IMT-2000 будет иметь мобильный телефон. После этого трафик будет все еще расти, но это будет зависеть, главным образом, от роста услуг мультимедиа.

Типы служб, доступных по IMT-2000, показаны в табл. 3.1, а примеры предоставляемых услуг на рис. 3.3.

Таблица 3.1. Типы служб, доступных в IMT-2000

Классификация службы	Скорость «пользователь–сеть»	Скорость «сеть–пользователь»	Отношение скоростей	Применение	Вид коммутации
Диалоговое мультимедиа	2048 кбит/с	2048 кбит/с	1	Телеконференция	Каналов
Высокоскоростное мультимедиа	384 кбит/с	2,048 Мбит/с	5,3	Телевидение	Пакетов
Среднее мультимедиа	128–384 кбит/с 19,2 кбит/с	128–384 кбит/с 768 кбит/с	1 40	Web-навигация	Пакетов
Коммутируемые данные	64 (144) кбит/с	64 (144) кбит/с	1	Интернет, факсимильные сообщения	Каналов
Передача сообщений	9,6–14,4 кбит/с	9,6–14,4 кбит/с	1	Электронная почта	Пакетов
Речь	4–32 кбит/с	4–32 кбит/с	1	Телефонная связь	Каналов

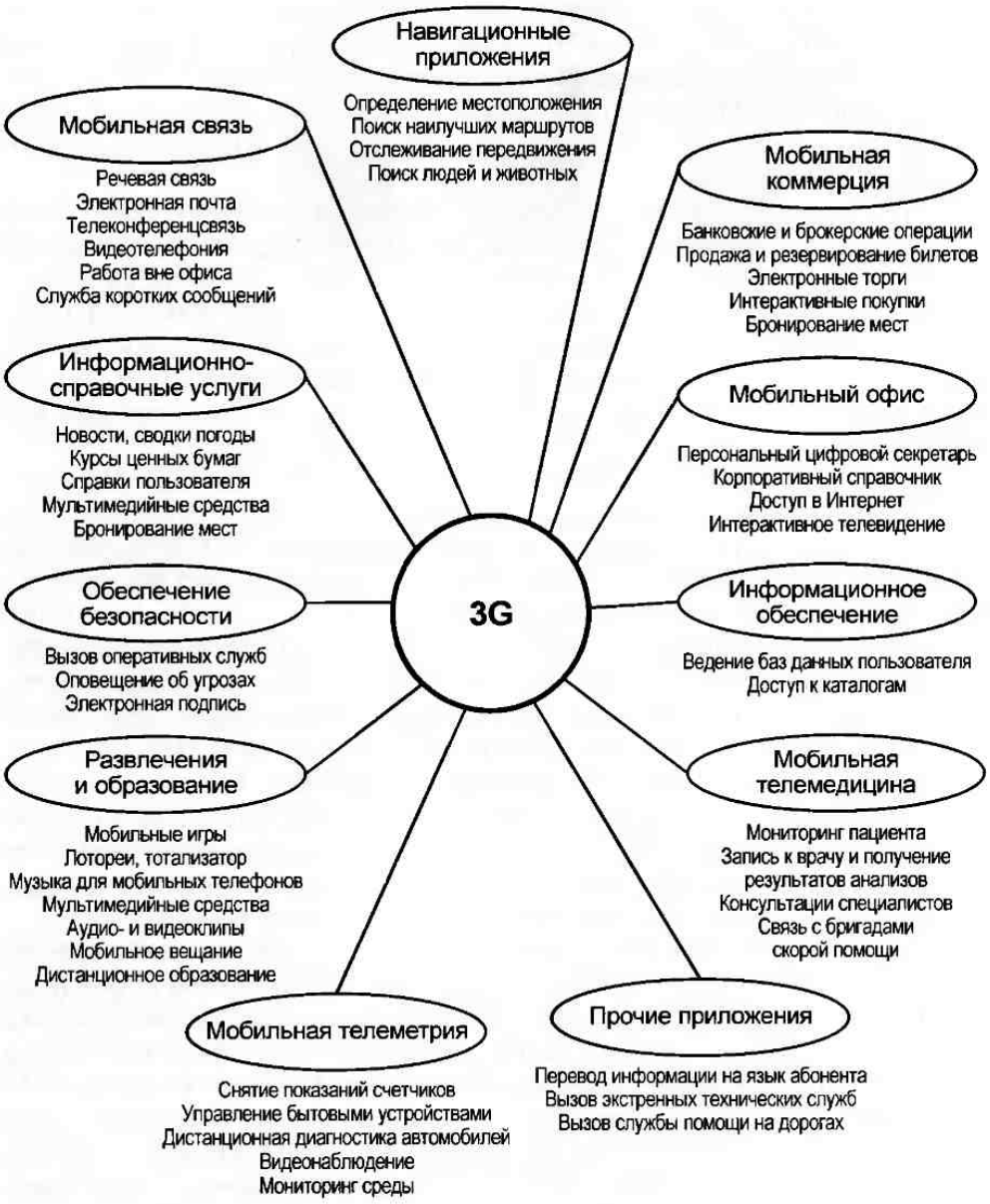


Рис. 3.3. Примеры услуг, предоставляемых мобильными системами 3G

3.1.4. Требования к спектру

В 1992 году МСЭ рекомендовал, чтобы все страны мира распределяли для услуг 3G одни и те же частоты. Это позволило бы упростить глобальный роуминг, особенно при условии, что каждая страна использовала бы один и тот же стандарт IMT-2000. Тогда пользователь независимо от местоположения мог бы быть уверен, что его мобильный телефон или устройство передачи данных будет работать.

К сожалению, единственная большая страна, которая фактически точно следовала рекомендациям МСЭ, был Китай. Европа и Япония уже использовали часть спектра для переносных телефонов и системы GSM. США уже использовали весь спектр для службы персональной связи и фиксированной радиосвязи [6, 114]. В России это диапазон частот занят радиослужбами фиксированной, подвижной и космической связи [46]. Введение служб по стандарту IMT-2000 нуждается в освобождении полос частот в существующей инфраструктуре.

Единственная часть всемирного спектра, доступная системам 3G, относится к услугам спутниковой связи, для которых, конечно, частотный диапазон должен быть всюду один и тот же. Проблемы заключаются в том, что нет спутников, выведенных на орбиту для того, чтобы обеспечивать работу с мобильной станцией со скоростью 144 кбит/с.

Наиболее экономичные спутники — это широкополосные устройства. Они нуждаются в более высоких частотах, что приводит к мысли предложить на базе терминала для мобильной спутниковой службы совмещенный терминал, который можно применять и для сотовой связи стандарта IMT-2000.

Исходя из прогнозов Форума UMTS (Universal Mobile Telecommunications Services) [65, 68], МСЭ определил дополнительную ширину спектра, необходимый для размещения служб 3G в каждом из трех глобальных регионов. Результаты анализа показаны на рис. 3.4 вместе со спектром частот, уже используемым службами 2G и распределенным для служб 3G.

Предполагая, что существующие сети 2G будут в конечном счете модернизированы к 3G, МСЭ прогнозирует, что в каждом регионе до 2010 г., в соответствии с прогнозом по рис. 3.4, потребуется дополнительно иметь полосу по крайней мере 160 МГц. Где этот спектр будет найден, еще не ясно, хотя МСЭ и различные промышленные группы рассматривают несколько предложений.

Очевидно, что использование частотных полос вокруг уже распределенного спектра — не выход. Они уже широко используются организациями, подобными НАСА, чтобы поддерживать контакт с космонавтами и космическими кораблями. Последние может быть все еще будут передавать полезную информацию в течение многих десятилетий после того, как они были запущены. Поэтому управление ими на других частотах невозможно.

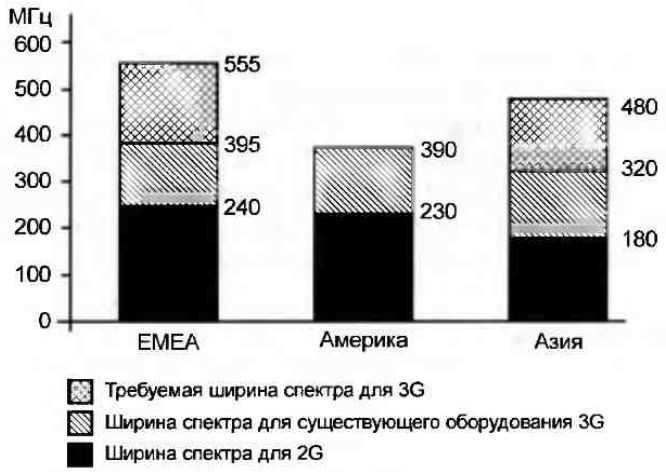


Рис. 3.4. Требуемый спектр частот в различных регионах, прогнозируемый МСЭ: EMEA — Europe, Middle East, Africa — Европа, Ближний Восток, Африка

Рассмотрим возможности в каждой полосе [6, 44, 114].

420–806 МГц. Это диапазон, известен как УВЧ-диапазон. В большинстве стран эти частоты используются для аналогового широковещательного телевидения. Они могут быть отданы мобильным телефонам только тогда, когда цифровое телевидение полностью заменит аналоговое, хотя это вряд ли случится повсеместно до 2010 года.

1429–1501 МГц. Эта частотная полоса используется для различных целей [46] во всем мире, включая переносные телефоны, фиксированное радио и широковещательную передачу. Часть этого диапазона не используется. Она оставлена свободной для того, чтобы ученые могли пытаться принять возможные сигналы, которые могут передавать другие цивилизации.

1710–1885 МГц. Некоторая часть этого частотного диапазона уже используются для мобильных служб в Европе и Азии, но этот диапазон может обеспечить дополнительную канальную емкость и в Америке. В Европе он интенсивно используется для управления воздушным движением.

2290–2300 МГц. Эта очень узкая полоска спектра используется для фиксированного радио, а также радиоастрономами, проводящими исследование глубокого космоса.

2300–2400 МГц. Эта частотная полоса используется для фиксированной беспроводной связи и некоторых телеметрических измерений. Диапазон расположен близко к спектру, уже распределенному для IMT-2000.

2520–2670 МГц. Некоторые страны используют эту частотную полосу для различных приложений, таких как широковещательная передача и фик-

сированное радио. Часть этого диапазона также используется спутниками, связывающимися с Землей. Эта частотная полоса одобрена Форумом UMTS как резерв для дополнительного расширения.

2700–3400 МГц. Частоты более 2700 МГц используются главным образом для радаров, хотя некоторые частоты имеют другие приложения, такие как спутниковая связь. В частности частотные полосы 3260–3267 МГц, 3332–3339 МГц, и 3345,8–3352,5 необходимы радиоастрономии, поскольку они соответствуют частотам радиоизлучения звезд.

3.1.5. Совместимость

Для построения мобильной сети третьего поколения МСЭ первоначально планировал создать единственный глобальный стандарт, но это оказалось невозможным. Вместо этого рассматриваются два главных типа стандартов CDMA, основанных на прямом расширении спектра (DS — Direct Spectrum), — WCDMA и cdma2000, и один тип стандарта, основанного на TD-CDMA, — EDGE (UWC-136). Эти стандарты с разной степенью подробности будут рассмотрены ниже.

Главная причина расхождения стандартов — несовместимость с существующими системами. Совместимость может быть достигнута одним из трех способов.

Прямая модернизация. Сетевые операторы для новых сервисов должны развертывать систему, которая по существу является только модернизацией существующего оборудования для подключения абонентов, использующих новые услуги. При этом такая система должны быть реализована так, чтобы обеспечивать работу со старыми базовыми станциями. Типичным примером такой модернизации является использование пакетной коммутации или лучшего метода модуляции, но сохранение существующих размеров сот и структуры каналов существенно ограничивает варианты развития. В частности, большинство систем 2G базируется на принципах TDMA, поэтому принцип прямой модернизации должен сохранить структуру TDMA.

Роуминг. В принципе, мобильное терминальное устройство может быть сделано так, чтобы взаимодействовать с любым числом систем, отличающихся протоколами взаимодействия, давая возможность абонентам пользоваться ими во всем мире. Кажется, что нет нерешаемых проблем по созданию терминала стандарта IMT-2000 с различными протоколами работы. Создание только одного типа терминала является наиболее желательным и самым дешевым решением вопроса роуминга.

Хэндовер. Роуминг от одной системы к другой неудобен для большинства пользователей, поскольку соединение, как правило, сбрасывается, чтобы

получить полномочия на работу в другой сети. Система 3G может быть организована так, чтобы она фактически «передавала» пользователей к сети 2G с помощью процедуры хэндовера, при которой пользователь не должен заметить замены сети. Проблема заключается в передаче обслуживания при наличии мультимедиа соединений, которые не реализуются сетью 2G. В этом случае абонент не получает доступа к службам 3G, не доступным в сети 2G. Это накладывает некоторые ограничения на проект систем 3G и средства, которые могли бы работать в сетях 2G и 3G.

3.2. Типы систем третьего поколения

WCDMA

Широкополосный CDMA (WCDMA) — система, одобренная большинством операторов, способных получить новый спектр частот. Система третьего поколения с таким названием была разработана японской фирмой ARIB в 1998 году. Одна из основных целей разработки — хэндовер к системе GSM. Сети GSM не могут быть модернизированы для работы с WCDMA, хотя некоторые компоненты системы GSM, такие как услуга пакетной радиопередачи GPRS (General Packet Radio Service), могут многократно транслироваться через сеть CDMA.

Ширина полосы, которая отводится для одного канала WCDMA, равна 5 МГц. Возможно увеличение полосы до 10 МГц и далее до 20 МГц. Это в четыре раза больше, чем cdmaOne, и в десятки раз больше, чем GSM. Широкая частотная полоса была выбрана, чтобы обеспечить более высокие скорости передачи данных, хотя только в непереполненной области спектра с очень хорошим приемом. Другое главное отличие WCDMA от cdmaOne — отсутствие потребности в синхронизации времени. WCDMA был разработан для того, чтобы работать без сигналов синхронизации от Глобальной навигационной системы* GPS (Global Positioning System). Имеются различия в кодировании: в WCDMA для кодирования используются не коды Уолша, а коды Голда. Для передачи в канал они объединяются с помощью той же самой модуляции, что и в cdmaOne. Все это позволяет передавать данные с максимальной скоростью приблизительно 2,048 Мбит/с в пределах одной соты. Скорость в канале 3,84 Мчип/с (7,8 и 15,6 Мчип/с). При этом предусматривается метод CDMA с прямым расширением спектра — DS-CDMA.

---

* Система военного применения, в настоящее время широко используется для решения гражданских задач, в частности, для определения точного времени.

Каждый канал повторно используется каждой сотой, повышая спектральную эффективность по сравнению с системами TDMA.

WCDMA предоставляет возможность мягкого хэндовера, но при взаимодействии с GSM такой тип хэндовера не поддерживается.

TD-WCDMA

TD-WCDMA (Time Division – Wideband Code Division Multiple Access) — временное разделение – широкополосный многостанционный доступ с кодовым разделением. Такое сочетание звучит противоречиво, как гибрид между TDMA и CDMA. Принцип TDMA подразумевает разбиение несущей частоты на канальные интервалы, но каждый канальный интервал «уплотняется» несколькими CDMA-сигналами, которые преобразованы с помощью ортогональных кодов. При этом методе сохраняется методика мультиплексирования системы CDMA. На рис. 3.5 показан кадр системы TD-WCDMA. Основными параметрами такого метода являются: частота, канальный интервал системы TDMA (КИ) и код системы CDMA. Структура кадра кнального интервала аналогична структуре кадра в системе GSM (см. рис. 1.27), но отличается продолжительностью кадра.

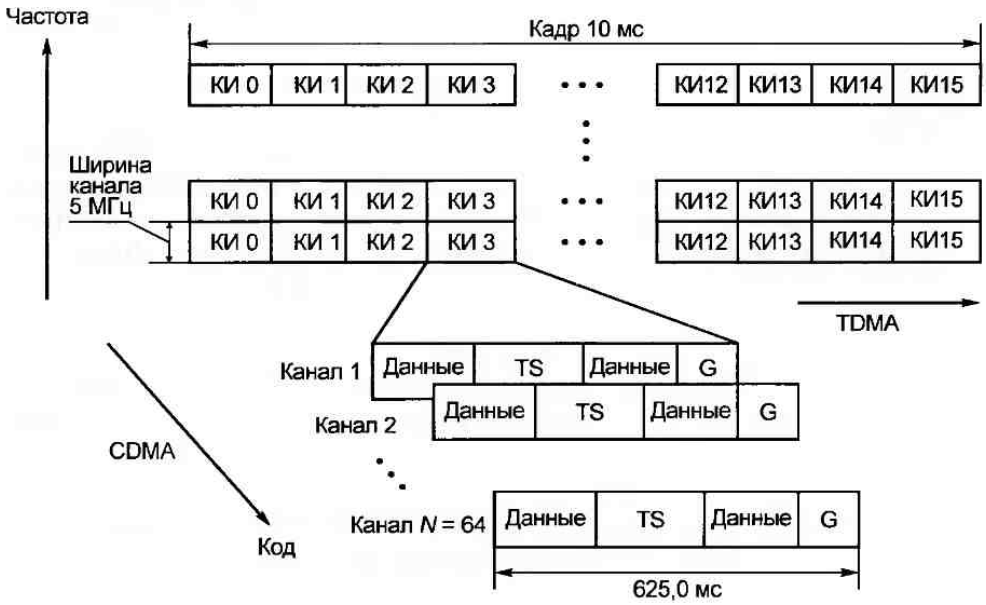


Рис. 3.5. Кадр системы TD-WCDMA (параметры UMTS):
G — защитный промежуток; TS — обучающая последовательность

В UMTS для двухсторонней связи разрешено применение частотного дуплексного разделения FDD (Frequency Duplex Division) и временного дуплексного разделения (TDD).

При FDD в различных направлениях передачи используются различные частоты, разделенные полосой 190 МГц. Очевидно, что если спектр лимитирован, то выделение парных полос частот затруднительно.

Временное разделение разделяет прямой и обратный потоки по времени. Мобильная и базовая станции поочередно используют одну и ту же частоту в разных направлениях. В этом случае можно уменьшить величину занимаемой полосы, и не требуется разделение спектра на парные частоты. Этот способ наиболее применим для небольших сот, поскольку интервал прием/передача зависит от времени распространения информации. Однако для временного разделения часто выходом является применение асимметричных скоростей в прямом и обратном направлении. Метод TDD может оказаться более эффективным в пикосотах для работы с компьютерами беспроводного доступа в Интернет.

В WCDMA несущие частоты выделяются в соответствии с заданными методами доступа для каждой частоты. При выдаче лицензии для каждого канала указывается, должен ли он использоваться в направлении от абонента к станции, или от станции к абоненту, или в непарном режиме. На рис. 3.6 показан пример разделения диапазона между операторами на 12 парных каналов и 7 непарных каналов (5 МГц каждый).

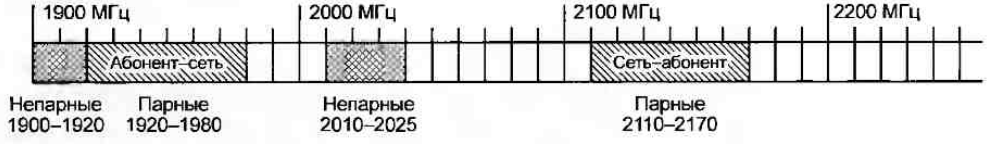


Рис. 3.6. Пример распределения частот при использовании WCDMA/UMTS

UMTS

С 1996 года разрабатываемый европейский стандарт для WCDMA был известен как Универсальные услуги мобильной связи (UMTS — Universal Mobile Telecommunications Services). Для руководства его разработкой был создан Форум UMTS с группой, ответственной за развитие GSM, для того, чтобы новый проект был бы также успешен как GSM, быстро распространяясь по остальному миру. Форум UMTS успешно разработал рабочие предложения для WCDMA, совместимого с GSM. Однако первыми применили его в Японии. Операторы Японии нуждались в новой системе 3G, поскольку возможности предоставления услуг 2G резко сокращали емкость. Первые

сети WCDMA были установлены в Японии операторами NTT DoCoMo и Jphone [44].

Компания NTT DoCoMo определила три приложения, которые необходимо поддерживать. Эти приложения содержали дополнительные услуги, отличные от тех, которые определил МСЭ. Система обеспечивала речь и видео со скоростью более чем 8 и 64 кбит/с соответственно, двухсторонние соединения со скоростью 348 кбит/с для автомобилей и для связи с интеллектуальной транспортной системой (центральный компьютер дистанционного управления трафиком на дорогах).

В настоящее время Международный консорциум операторов связи и производителей связной аппаратуры, включающий компании NTT DoCoMo, Vodafone, Cingular Wireless, Siemens и Alcatel, ведет работы по созданию телекоммуникационных мобильных сетей четвертого поколения (4G). NTT DoCoMo, в частности, уже удалось достичь скорости передачи данных на мобильный терминал в 1 Гбит/с. Правительство Японии планирует начать коммерческое использование сетей связи 4G в 2010 году.

cdma2000

Из систем второго поколения только cdmaOne базируется на CDMA. Это дает преимущества в движении к системам 3G, так как операторы могут модернизировать свои существующие сети с помощью нового программного обеспечения или новой системы модуляции, не вводя новые системы радиосвязи. Эти обновления в совокупности известны как cdma2000, они совместимы с существующими системами IS-95.

До середины 2000 года путь обновления для cdmaOne казался ясным. Результат, как предполагалось, был системой, названной cdma2000 3XMC, которая могла бы комбинировать три канала системы cdmaOne и расширяла пропускную способность. К сожалению, эта система не была совместима с WCDMA, одобренной Европой и Японией, хотя их спецификации почти идентичны. Разница состоит в скорости чипа: скорость чипа cdma2000 должна быть кратна скорости cdmaOne, для WCDMA скорость чипа должна быть приспособлена к структуре тактовой синхронизации GSM.

В 2000 году компании Motorola и Nokia начали совместную разработку системы, названной 1Xtreme, которая, по их утверждению, может достигнуть скоростей, подобных 3XMC, но при этом использовать только один канал и, следовательно, одну треть спектра. Это утверждение пока еще не доказано, и некоторые аналитики утверждают, что они просто хотят опередить многие патенты, касающиеся CDMA, своего конкурента — компании Qualcomm. Однако, если их утверждения окажутся справедливыми, то CDMA 1Xtreme действительно предоставит операторам cdmaOne шанс увеличить емкость

любой конкурирующей системы. Параметры конкурирующих вариантов модернизации CDMA приведены в табл. 3.2 вместе с существующими системами IS-95b и WCDMA. В этой таблице реальная пропускная способность — это только оценки изготовителей [128].

Таблица 3.2. Сравнение систем на базе CDMA

CDMA-система	Диапазон частот, Мгц	Скорость чипа, чип/с	Максимальная пропускная способность	Реальная пропускная способность, кбит/с
cdmaOne IS-95b	1,25	1,2288	115,2 кбит/с	64
cdma2000 1XMC	1,25	1,2288	384,0 кбит/с	144
cdma2000 1Xtreme	1,25	1,2288	5,2 Мбит/с	1200
cdma2000 HDR	1,25	1,2288	2,4 Мбит/с	621
cdma2000 3XMC	3,75	3,6864	4,0 Мбит/с	1117
WCDMA(UMTS)	5,00	4,0960	4,0 Мбит/с	1126

Для всех операторов cdmaOne следующий шаг после IS-95b — система, названная 1XMC (MC означает много несущих— Multi Carrier). Она требует новых аппаратных средств для базовых станций и базовых контроллеров, но никакого нового радиоинтерфейса, и позволяет вдвое увеличить пропускную способность, используя каждый из кодов Уолша дважды. Поскольку стандарт этой системы весьма похож на предыдущие, иногда его называют IS-95c.

3XMC

3XMC — предложение проекта cdma2000, принятое МСЭ как часть IMT-2000. Его требуемые рабочие характеристики почти идентичны WCDMA, но он требует меньшего диапазона частот и использует в некоторой степени решения cdmaOne, например, скорость чипа и потребность в синхронизации. МСЭ выражает надежду, что будут разработаны терминалы, которые смогут легко адаптироваться для обеих систем: WCDMA и 3XMC.

HDR

Высокоскоростная передача данных (HDR — High Date Rate) — модернизация 1XMC, предложенная компанией Qualcomm. Она приспосабливает канал 1,25 МГц к передаче данных и увеличивает скорость, используя различные типы модуляции. Вместо QPSK она может использовать 8-PSK (8-позиционная фазная манипуляция) или 16-QAM (16-уровневая квадратурная амплитудная модуляция). Эти виды модуляции позволяют увеличить скорость передачи информации.

Используя 16-QAM, можно увеличить максимальную скорость передачи данных от станции к абоненту до 2,4 Мбит/с и до 307,2 кбит/с на канале связи от абонента к станции.

Этот диапазон используется всеми абонентскими станциями и разделен с помощью кода Уолша на 32 канала, из которых 3 служебных.

Канал связи от абонента к станции разделяется с помощью TDMA на 240 временных слотов, каждый из которых может быть предоставлен отдельному абоненту. Однако следует учитывать, что система должна предоставлять двустороннюю связь.

Пропускная способность понижается в условиях большой интерференции, поскольку 16-QAM требует соединения с малым уровнем помех. Как только сигнал становится слабым, модуляция понижает число фазовых состояний до 8-PSK или QPSK (два фазовых состояния). Поскольку HDR может использоваться только для данных, она не может быть конкурентом 3XMC. Компания Qualcomm утверждает, что это — промежуточный шаг, который будет сделан перед запуском полной системы 3XMC.

1Xtreme

Система, разработана совместно компаниями Nokia и Motorola [123]. Она выставлена на продажу как конкурент HDR и 3XMC и использует те же самые методы модуляции что HDR, но применяет их для передачи как речи, так и данных.

Не все системы 3G базируются на CDMA. На основе TDMA разработана новая технология, названная «увеличение скорости передачи данных для содействия эволюции GSM» (EDGE — Ehanced Data rate for GSM Evolution). Как указывает название, она была запланирована как модернизация сети GSM для операторов, которые уже развернули системы HSCSD (High-Speed Circuit Switched Data — высокоскоростная передача данных в сетях с коммутацией каналов) и GPRS.

EDGE (UWC-136)

Технология EDGE планировалась для того, чтобы операторы GSM могли применить ее в существующей сети в процессе перехода к UMTS. При этом они могли использовать в своих интересах спектр IMT-2000. Поскольку UMTS может выполнять хэндовер к GSM, обе эти технологии были бы совместимы, и много терминалов, работающих в Европе, были бы способны работать через обе системы.

Все изменилось, когда был создан UWCC (Universal Wireless Communications Consortium — Консорциум универсальной беспроводной связи) —

группа, представляющая американскую индустрию TDMA. Работая с Ассоциацией GSM, участники Консорциума разработали способ модернизации системы стандарта D-AMPS для перехода к EDGE. Объяснение этого факта простое — D-AMPS выполнил свою задачу, и операторам надо было строить новые сети 3G. И cdma2000, и WCDMA были рассчитаны на построение этих новых сетей, но проблема была в каналах. Любая система радиосвязи чтобы работать нуждается, по крайней мере, в одном канале, а для оператора — это необходимость новой лицензии.

Новый радиоинтерфейс EDGE, созданный на основе стандартов GSM, обеспечивает плавный переход к системам радиосвязи 3G, позволяя увеличить скорость передачи данных до 384 кбит/с. Что же касается более высоких скоростей передачи (от 2048 кбит/с), которые определены в IMT-2000 для новых поколений пико- и микросотовых сетей, то их предполагается реализовать во второй фазе спецификаций.

Ширина канала EDGE — 200 кГц, та же самая что и у GSM. Даже условия повторного использования каналов одинаковы. В 2000 году МСЭ принял EDGE как режим IMT-2000 и стандартизировал его как UWC-136. В спецификациях EDGE заложены принципиально новые по сравнению с GSM возможности. В первую очередь — это автоматическое распознавание типа модуляции, применяемого в радиолинии, с автоматическим переходом в требуемый режим. Усовершенствованный метод модуляции позволяет абонентской радиостанции автоматически адаптироваться к качеству канала радиосвязи, причем самые высокие скорости передачи обеспечиваются, безусловно, в наиболее благоприятных условиях распространения радиоволн (например, вблизи базовых станций). В табл. 3.3 приведены сравнительные характеристики систем EDGE и WCDMA [20].

Таблица 3.3. Сравнительные характеристики технологий EDGE и WCDMA

Показатель	EDGE	WCDMA
Скорость передачи в условиях высокой мобильности в локальных зонах покрытия, кбит/с	128	384
Скорость передачи в условиях низкой мобильности в широких зонах покрытия, кбит/с	384	2048
Используемые диапазоны частот, МГц	GSM (450, 900, 1800) и PCS (1900)	1920–1980 2110–2170
Ширина полосы канала, МГц	0,2	5
Метод доступа/модуляции	TDMA/8-PSK	DS-CDMA/QPSK
Мощность передатчика мобильного терминала (передача речи), Вт	1 (макс.)	0,125

Технология EDGE предусматривает организацию двух служб: усовершенствованной службы пакетной передачи (EGPRS, Enhanced GPRS) и усовершенствованной радиослужбы коммутации каналов (ECSD, Enhanced Circuit Switched Data). Она унаследовала почти все свои главные особенности от GSM и GPRS, включая структуру кадра TDMA с восемью слотами продолжительностью 0,577 мс. Разница заключается в схеме модуляции. Вместо двоичной GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying — гауссовская манипуляция с минимальным частотным сдвигом) применяется 8-PSK, такая же, как в HDR. Это сразу утраивает пропускную способность по сравнению с GSM.

Услуги технологии EDGE могут быть предоставлены обычному клиенту GSM для передачи речи и данных. Однако операторы, установившие эту систему, предоставляют также услуги GPRS (пакетной радиопередачи) и HSCSD (высокоскоростной передачи данных в сетях с коммутацией каналов). По этой причине услуги, предоставляемые EDGE, указываются иногда как EGPRS и EHSCSD. Для клиентов, которые не имеют оборудования EDGE, терминал полностью совместим с терминалом GSM. Поскольку 8-PSK более восприимчива к ошибкам, чем GMSK, EDGE имеет девять различных схем модуляции и кодирования (табл. 3.4). Каждая из них предназначена для различного по качеству соединения. Они отличаются по количеству корректируемых ошибок. Смена режима кодирования производится каждый раз, когда декодируемый предыдущий блок принимается с низкой достоверностью. В результате следующий блок данных передается с более высокой помехозащищенностью (режим 8-PSK).

Таблица 3.4. Схемы модуляции и кодирования в системе EDGE

Схемы модуляции и кодирования (MCS)	Пропускная способность слота, кбит/с	Избыточность для исправления ошибок, %	Тип модуляции	Пропускная способность канала, кбит/с
MCS -1	8,8	143	GMSK	70,4
MCS-2	11,2	91	GMSK	89,6
MCS-3	14,8	45	GMSK	118,4
MCS-4	17,6	22	GMSK	140,8
MCS-5	22,4	187	8-PSK	179, 2
MCS-6	29,6	117	8-PSK	236,8
MCS-7	44,8	43	8-PSK	358,4
MCS-8	55,4	18	8-PSK	435,2
MCS-9	59,2	8	8-PSK	473,6

EDGE Compact

Чтобы сделать процесс внедрения EDGE более простым для операторов D-AMPS, UWCC предлагает определенный упрощенный стандарт, названный EDGE Compact, который может использоваться только для передачи данных, но не речи. Он не требует многих каналов управления, которые присутствуют в полномасштабной системе.

EDGE Compact можно рассматривать как промежуточный вариант. Его задача — обеспечить скоростную передачу данных для пользователей, которые используют речевую службу стандарта D-AMPS. Передача данных «поверх» речи подобна функциям HDR на сетях CDMA.

3.3. Система UMTS

3.3.1. Архитектура системы

Архитектура системы UMTS показана на рис. 3.7. Она использует ту же хорошо известную архитектуру, которая применяется во всех основных системах второго поколения и подобна уже рассмотренной архитектуре системы GSM (см. рис. 1.1, разделы 1.3, 1.4).

Сеть 3G строится на базе тех же компонентов, что и рассмотренные выше подвижные сети [28]. Это: мобильная телефонная станция, в системе UMTS она называется UE (User Equipment); базовая телефонная станция, по используемой терминологии — узел B; контроллер базовой станции (BSC) и центр коммутации мобильной связи (MSC).

В системе WCDMA вместо термина «контроллер базовой станцией» применяется термин — «контроллер управления радиосетью» (RNC — Radio Network Controller).

UE и сеть наземного радиодоступа UMTS (UTRAN — UMTS Terristrial Radio Access Network) работают в соответствии с совершенно новыми протоколами, построение которых основано на потребностях новой технологии радиосвязи WCDMA. И наоборот, построение основной сети — CN (Core Network) [102, 106] — повторяет GSM. Это дает системе с новой технологией радиосвязи глобальную базу из известной и испытанной технологии, что способствует ускорению ее внедрения и позволяет использовать такое замечательное преимущество, как глобальный роуминг. Но в перспективе UMTS ориентируется на быстродействующую сеть на базе технологии ATM.

По своим функциям элементы сети группируются в сеть UTRAN, которая оперирует всеми функциями, относящимися к радиосвязи, и в базовую сеть

CN, которая обеспечивает коммутацию и маршрутизацию вызовов, а также каналы передачи данных во внешние сети. В системе UMTS применяется оборудование пользователя (UE — User Equipment), которое взаимодействует с ним, и радиоинтерфейс Uu.

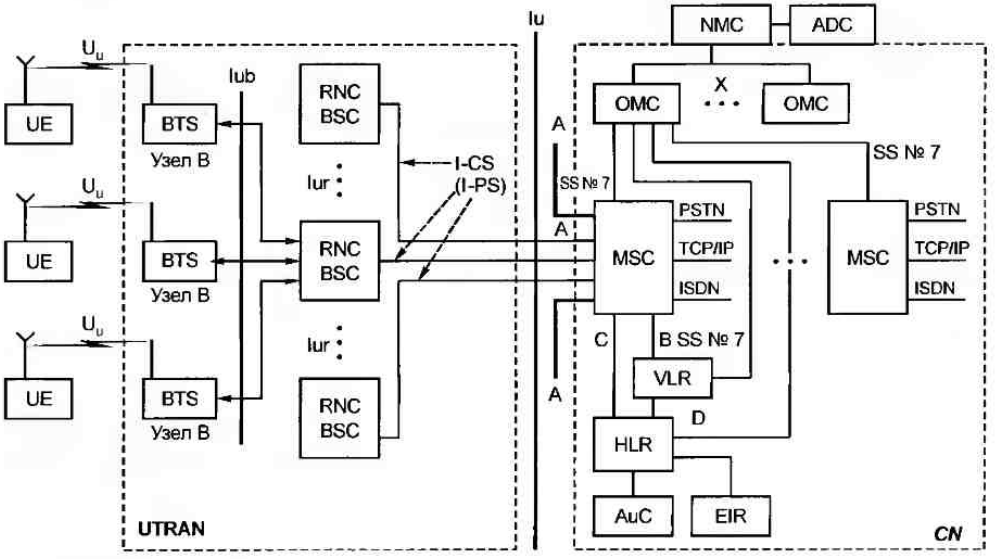


Рис. 3.7. Архитектура сети и интерфейсы UMTS:

ADC	Administration Center	Административный центр
AuC	Authentication	Центр аутентификации
BTS	Base Telephone Station	Базовая приемопередающая станция
EIR	Equipment Identification Register	Регистр идентификации оборудования
HLR	Home Location Register	Домашний регистр местоположения
I-CS	Interface Channel Switching	Интерфейс коммутации каналов
I-PS	Interface Packet Switching	Интерфейс коммутации пакетов
ISDN	Integrated Service Digital Network	Цифровая сеть с интеграцией служб
Iu	Interface UTRAN-CN	Интерфейс UTRAN-CN
Iub	Interface BTS- RNC	Интерфейс BTS- RNC
Iur	Interface RNC-RNC	Интерфейс RNC-RNC
MS	Mobile Station	Мобильная станция
MSC	Mobile Switching Center	Центр коммутации мобильной связи
NMC	Network Management Center	Центр управления сетью
OMC	Operation and Maintenance Center	Центр эксплуатации и технического обслуживания
PSTN	Public Switched Telephone Network	Телефонная сеть общего пользования
RNC	Radio Network Controller	Контроллер управления радиосети
TCP/IP	Internet Protocols	Протокол управления передачей данных/Интернет-протокол
UE	User Equipment	Устройство пользователя
UTRAN	UMTS Terrestrial RAN	Сеть наземного радиодоступа UMTS
Uu	Interface UE-BTS	Интерфейс UE-BTS
VLR	Visit Location Register	Визитный регистр местоположения

Другим способом группирования компонентов сети UMTS служит ее деление на подсети. Система UMTS является модульной в том смысле, что она может включать несколько элементов сети одного и того же типа. В принципе, минимальным требованием для того, чтобы сеть работала и реализовывала все свои функциональные возможности, является наличие, по крайней мере, одного логического элемента сети каждого типа (отметим, что некоторые функции и, следовательно, некоторые элементы сети, являются необязательными). Возможность иметь несколько объектов одного и того же типа позволяет делить систему UMTS на подсети, работающие либо самостоятельно, либо вместе с другими подсетями, которые являются тождественными друг другу. Такая сеть UMTS называется PLMN (наземная мобильная сеть общего пользования). Обычно одна PLMN [108] эксплуатируется одним оператором и соединяется с другими PLMN так же, как и с другими типами сетей, например, ISDN, PSTN, Интернет и т.д. На рис. 3.7 показаны элементы PLMN, а также указаны связи к внешним сетям (PSTN, ISDN, TCP/IP).

Краткие сведения об элементах архитектура сети наземного радиодоступа UTRAN приводятся ниже.

3.3.2. Пользовательское оборудование

Пользовательское оборудование (UE) включает две части:

- подвижное оборудование — радиотерминал, используемый для радиосвязи через интерфейс Uu;
- модуль идентификации абонента UMTS-SIM (USIM — UMTS Subscriber Identification Module), представляющий собой интеллектуальную плату, которая аналогично SIM-карте служит идентификатором абонента, выполняет алгоритмы аутентификации и шифрования, а также предоставляет некоторые данные об услугах, которыми имеет право пользоваться абонент при работе с терминалом.

Мобильная станция должна быть рассчитана на поддержку всех видов услуг сети третьего поколения, в частности, она должна обеспечивать:

- передачу речи с принятым для системы набором скоростей (см. табл. 3.3);
- услуги служб видеоконференции и приложений видеотелефонии, основанные как на коммутации каналов (ISDN), так и использующие передачу пакетов (TCP/IP);
- услуги сети Интернет со скоростями до 473,6 кбит/с при работе в обычном режиме, и с максимально возможной скоростью в режиме best effort*;

* best effort — негарантированное обслуживание с наилучшими из возможных в данный момент характеристиками.

– удаленный доступ к корпоративным локальным сетям для работы с файловыми серверами, базами данных и другими приложениями;
– приложения электронной почты.

UTRAN состоит из двух элементов: базовая станция и контроллер базовой станции.

Базовая станция (по терминологии 3GPP* — узел B) преобразует поток данных между интерфейсами Iub и Uu. Она также участвует в управлении радиоресурсами. Базовая станция должна обеспечить пропускную способность базовых и управляющих каналов для поддержания перечисленных служб.

Контроллер базовой станции (по терминологии 3GPP — контроллер радиосети — RNC) обеспечивает интерфейсы со станциями с коммутацией каналов I-CS или пакетной коммутации I-PS.

Каждая из этих станций имеет традиционную архитектуру, но с учетом новых сервисов и технологий. Рассмотрим кратко архитектуру RNC. Поскольку она зависит от места станции в сети и связи с другими станциями этой и других систем, архитектура может быть различной. Поэтому приведем конкретный пример. В этом примере дан некоторый типовой состав устройств, обеспечивающий типовой набор услуг [16]. Архитектура ориентирована на работу в быстродействующей сети ATM. Эта система показывает возможности станций 3-го поколения WCDMA.

3.3.3. Архитектура контроллера радиосети

Контролер радиосети (RNC), архитектура которого показана на рис. 3.8, обеспечивает следующие функции:

– управление радиоресурсом, обработку принятых сигналов и мягкий хэндовер;
– кодирование и декодирование сигналов (если кодеры и декодеры установлены в контроллере);
– прием и передачу информации от мобильных станций по интерфейсу Iub, обеспечивающему взаимодействие с системой ATM со скоростью 1,5/2 Мбит/с [106];
– передачу информации к центру коммутации мобильной связи по каналам ATM со скоростью 155 Мбит/с по интерфейсу Iub;
– передачу неструктурированных данных (услуги UDI);
– отсчет времени и синхронизацию.

---

* 3GPP (Third Generation Partnersfip Project) — Проект партнерства производителей систем сотовой связи третьего поколения.

К одному контроллеру радиосети могут быть подключены как минимум три базовые станции. При этом каждая из них может использовать до двух Iub-каналов 1,5/2 Мбит/с. Транспортная емкость конфигурации, представленной на рис. 3.8, составляет около 160 мобильных станций, которые могут установить соединения друг с другом или с сетью фиксированной связи. Каждое подключение коммутируется в MSC через ATM-коммутатор. В последнее время проводятся работы по замене ATM-коммутаторов на softswitch [18].

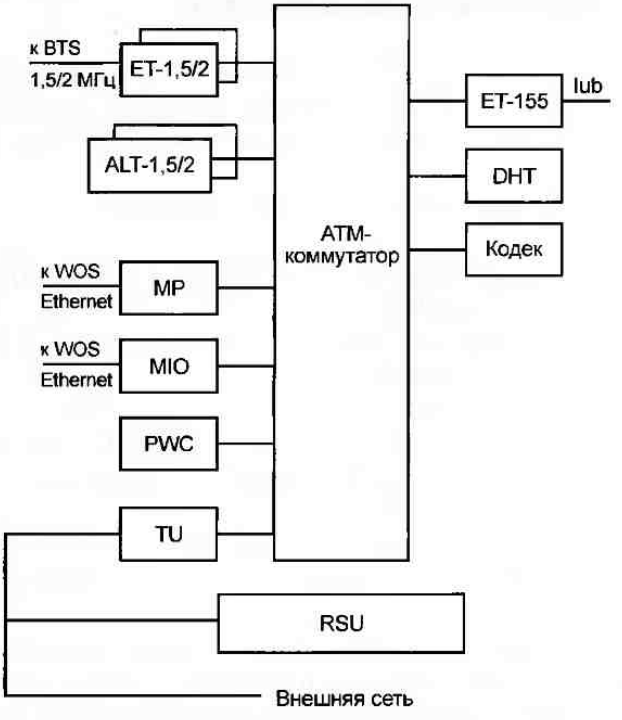


Рис. 3.8. Архитектура контроллера радиосети:

ALT-1,5/2	ATM Link Termination	Оконечный комплект ATM-подключения
DHT	Diversity Handover Terminal	Устройство проведения хэндовера с разнесенным приемом
ET-1,5/2, ET-155	Exchange Terminal	Оконечный терминал
Iu		Интерфейс между BTS и RNC
Iub		Интерфейс RNC и MSC
MI0	Multiplexing Input/Output	Многоцелевое устройство входа/выхода
MP	Main Processor	Основной процессор
PWC	Power Connection	Подключение электропитания
RSU	Reference Clock Unit	Блок опорного синхронизирующего сигнала
RNC	Radio Network Controller	Контроллер радиосети
TU	Timing Union	Тактовый генератор
WOS	WCDMA Operation System	Система функционирования WCDMA

В сети UMTS в процессе мягкого хэндовера с одним UE могут работать два контроллера RNC. Тогда один из них (завершающий соединение) называется обслуживающим (SRNC — Service RNC), а другой — дрейфующим (DRNC — Drift RNC). Принцип работы и задачи станций при мягком хэндовере были изложены при описании работы сети CDMA и будут рассмотрены далее для UMTS.

3.3.4. Центр коммутации мобильной связи

Центр коммутации мобильной связи (MSC) системы UMTS, архитектура которого представлена на рис. 3.9, содержит все типовые элементы станции того же типа для системы GSM и выполняет те же функции (см. 1.3.3). MSC обеспечивает:

- подключение к фиксированным сетям (таким, например, как ТфОП и ISDN);
- передачу сигналов между функциональными объектами в подсистеме сети с использованием ОКС–7;
- обслуживание подвижных абонентов, расположенных в пределах определенной географической зоны;
- обслуживание группы сот и все виды соединений, в которых нуждается в процессе работы подвижная станция; MSC аналогичен коммутационной станции ISDN и реализует интерфейс между фиксированными сетями (PSTN, Интернет, ISDN и т.д.);
- взаимодействие с RNC через интерфейс Iub, а с сетями ISDN и локальными компьютерными ATM-сетями — через интерфейсы фиксированных сетей;
- маршрутизацию вызовов и функции управления вызовами, выполнение процедур управления, все функциональные возможности мобильного абонента, такие как регистрация, аутентификация, обновление местоположения, хэндовер;
- формирование данных, необходимых для выписки счетов за предоставленные сетью услуги связи;
- поддержание процедур безопасности, применяемых для управления доступом к радиоканалам.

Основным отличием MCS системы UMTS от аналогичного узла системы GSM является то, что коммутатор MSC должен быть рассчитан на высокие скорости, поэтому он обычно выполняется на базе ATM-коммутатора.

Основными элементами базовой сети GSM являются:

- домашний регистр местоположения (HLR — Home Location Register), который содержит всю административную информацию каждого або-

нента, зарегистрированного в соответствующей сети GSM, наряду с текущим местоположением мобильных станций;

– визитный регистр местоположения (VLR — Visit Location Register), с помощью которого достигается функционирование подвижной станции за пределами зоны, контролируемой HLR.

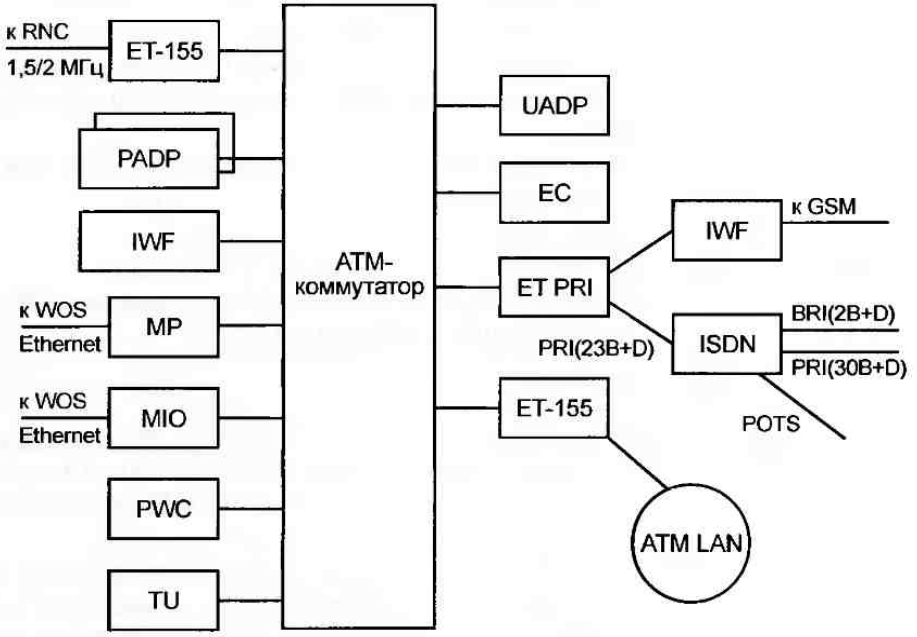


Рис. 3.9. Архитектура центра коммутации мобильной связи:

BRI	Basic Rate Interface	Интерфейс основной скорости
EC	Echo Canceller	Эхокомпенсатор
ET-1,5/2, ET-155	Exchange Terminal	Оконечный терминал
IWF	Interworking Function	Функция взаимодействия
MI0	Multiplexing Input/Output	Многоцелевое устройство входа/выхода
MP	Main Processor	Основной процессор
MSC	Mobile Switching Center	Центр коммутации мобильной связи
PADP	Packet services Adaptation	Адаптация пакетных услуг
POTS	Plain Ordinary Telephone Services	Традиционный (аналоговый) телефонный сервис
PRI	Primary Rate Interface	Интерфейс первичной скорости
PWC	Power Connection	Подключение электропитания
RNC	Radio Network Controller	Контроллер радиосети
TU	Timing Union	Тактовый генератор
UADP	UDI services Adaptation	Адаптация к услугам UDI
WOS	WCDMA Operation System	Система функционирования WCDMA

Подобно RNC, MSC системы UMTS также разработан на основе базовой ATM-инфраструктуры и обладает такой же гибкостью, что и RNC. В действительности, некоторые функции могут даже перераспределяться между RNC и MSC, который взаимодействует с RNC через интерфейс Iub, а с сетями ISDN и локальными компьютерными ATM-сетями — через интерфейсы фиксированных сетей.

Основной задачей MSC является установление и сброс соединений от мобильных станций. Так как MSC может в одном и том же узле обрабатывать голос, осуществлять передачу пакетных данных и данных с коммутацией каналов, то становится возможными обслуживание мультимедийных приложений. MSC выполняет функции:

- адаптивной обработки, как пакетных данных, так и данных для передачи по сети с коммутацией каналов;
- взаимодействия с сетями ISDN;
- взаимодействия с локальными компьютерными ATM-сетями;
- кодирования/декодирования речи в соответствии с рекомендацией ITU-T G.729 (при условии реализации кодеков в MSC);
- эхоподавления;
- IP-маршрутизации.

Для адаптивной обработки абонентских данных с целью передачи по аналоговым голосовым сетям, а также сетям с коммутацией каналов и пакетов, используется внешнее оборудование, например, конвертор ISDN и ATM-маршрутизатор.

Внешний интерфейс основной скорости (BRI) соответствует стандартам. Кроме того, при подключении внешнего конвертора ISDN также могут быть реализованы европейские ISDN-интерфейсы (PRI и BRI), соответствующие рекомендациям ITU-T Q.931 (уровень 3), Q.921 (уровень 2) и I.430/I.431 (уровень 1). Внешняя компьютерная ATM-сеть использует постоянный виртуальный канал для осуществления всех подключений «IP-поверх-ATM» в соответствии со спецификацией IETF RFC 1483.

Возможности совместимости центра коммутации мобильной связи (блок IWF на рис. 3.9) позволяют подключаться к центрам коммутации сетей GSM.

Встроенный IP-маршрутизатор обеспечивает обработку потоков со скоростью до 10 Мбит/с. Распределение ресурсов между голосом, канальными данными и пакетными данными регулируется различными вариантами конфигурации эхоподавителя, блоков адаптации услуг UDI (UADP) и адаптации пакетных услуг (PADP), IP-маршрутизатора (IPR) и интерфейса PRI.

Внешние сети делятся на две группы:

- сети с коммутацией каналов CS (Channel Switching), обеспечивающие соединения в существующей в настоящее время сети телефонной связи;

– сети с коммутацией пакетов PS (Packet Switching) (рис. 3.10). Они обеспечивают соединения с коммутацией пакетов; одним из примеров сети PS служит Интернет.

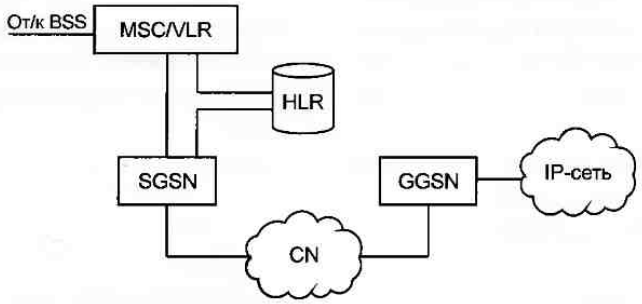


Рис. 3.10. Схема подключения GPRS к мобильной сети:

BSS	Base Station System	Оборудование базовой станции
CN	Core Network	Основная сеть
GGSN	Gateway GPRS Support Mode	Шлюз с поддержкой GPRS
HLR	Home Location Register	Домашний регистр
MSC/VLR	Mobile Switching Center/Visit Location Register	Центр мобильной коммутации/визитный регистр
SGSN	Serving GPRS Support Node	Узел обслуживания с поддержкой GPRS (общая радиослужба пакетной передачи)

Для целей пакетной коммутации на мобильной сети устанавливаются следующие виды коммутаторов:

– SGSN (Serving GPRS Support Node — узел по обеспечению услуг GPRS), функции которого подобны функциям MSC/VLR (управление мобильностью, аутентификация и шифрование), но используются для услуг с коммутацией пакетов;
– GGSN (Gate GPRS Support Node) — узел по обеспечению межсетевого взаимодействия (шлюз) GPRS с другими сетями с коммутацией пакетов.

Иногда при начальном запуске станции или небольшой нагрузке передача пакетной информации осуществляется дополнительным оборудованием, устанавливаемом на MSC.

3.3.5. Каналы

Данные, передаваемые по каналам UMTS/WCDMA, организуются в виде кадров, временны́х положений (слотов) и каналов. Это касается всей полезной нагрузки и управляющих сигналов.

UMTS использует технологию CDMA как технологию доступа, а также дополнительно технологию временно́го разделения и, соответственно, структуру кадра (см. рис. 1.27) и временного положения (слота) (см. рис. 1.29) для организации структуры каналов [60].

Каналы разделяются на 10-миллисекундные кадры, каждый из которых содержит 16 слотов длительностью по 625,0 мкс. В направлении от станции к UE время разделяется так, чтобы временные слоты содержали поля с пользовательскими данными и управляющими сообщениями. В направлении от UE при образовании каналов используется передача в одном формате данных и управляющих сообщений.

Все каналы классифицируются по трем категориям: логические, транспортные и физические. Логические и транспортные каналы определяют методы и пути передачи данных, физические каналы переносят полезную нагрузку и обеспечивают физические характеристики сигналов. Каналы организованы так, чтобы логические каналы зависели только от передаваемой информации, а физический уровень определяет, как и с какими характеристиками передается эта информация. Протокол управления доступом к среде (MAC — Media Access Control) обеспечивает обслуживание логических каналов. Набор типов логических каналов определен для различных видов услуг передачи данных.

Логические каналы

Широковещательный канал управления (*BCCH — Broadcast Control Channel*) — канал от базовой станции к UE (DL — downlink). Этот канал широковещательно передает информацию к UE, например информацию о пилот-сигналах соседних сот.

Широковещательный управляющий канал оповещения (*PCCH — Paging Control Channel*) (от станции к абоненту). Этот канал связан с PICH (Paging Indication Channel), о котором будет сказано немного позднее. Он используется для уведомления и широковещательных передач вызова.

Выделенный канал управления (*DCCH — Dedicated Control Channel*) (от станции к UE и обратно). Этот канал используется, чтобы доставить специализированную информацию управления в обоих направлениях.

Общий канал управления (*CCCH — Common Control Channel*) (от станции к UE и обратно). Этот двунаправленный канал используется, чтобы передать управляющую информацию.

Общедоступный канал управления канала (*SHCCH — Shared Channel Control Channel*) (двунаправленный). Этот канал используется только в режиме временного дуплексного разделения (TDD — Time Duplex Division)

WCDMA/UMTS для транспортировки общедоступной управляющей информации канала.

Специализированный канал трафика (*DTCH — Dedicated Traffic Channel*). Этот двунаправленный канал используется для доставки пользовательских данных или трафика.

Общий канал трафика (*CTCH — Common Traffic Channel*) (от станции к абоненту). Этот однонаправленный канал используется для передачи специализированной пользовательской информации группе UE.

Транспортные каналы

Транспортные каналы передают сообщения, обеспечивающие надежное и достоверное прохождение информации по сети.

Специализированный (*выделенный*) *транспортный канал* (*DCH — Dedicated transport Channel*) представляет собой двунаправленный канал. Он используется для передачи данных конкретному UE. Каждый UE имеет свой собственный DCH в каждом направлении.

Широковещательный канал (*BCH — Broadcast Channel*) (от станции к UE). Этот канал широковещательно передает информацию о соте в направлении к UE, чтобы дать возможность UE идентифицировать сеть и соту.

Канал прямого доступа (*FACH — Forward Access Channel*) (от станции к абоненту). Этот канал передает данные или информацию к UE, которые зарегистрированы в системе. В соте может быть больше чем один FACH. Они могут доставлять пакеты данных.

Широковещательный канал коротких сообщений (*канал вызова*) (*PCH — Paging Channel*) от станции к абоненту. Этот канал может передавать аварийные сообщения UE, SMS-сообщения, данные о сеансах связи или о типе требуемого обслуживания, например, обеспечение процедуры перерегистрации станции.

Канал (*связи*) *с произвольным доступом* (*RACH — Random Access Channel*) — канал связи от абонента к станции. Этот канал передает запросы на обслуживание от UE, обращающегося к системе.

Общий канал передачи пакетов (*CPCH — Common Packet Channel*) — канал связи от UE к станции. Этот канал обеспечивает возможности, дополняющие RACH, а также сигналы быстрого регулирования мощности.

Канал совместного использования по направлению «вниз» (*DSCH — Downlink Shared Channel*) — канал связи от станции к UE. Этот канал может быть разделен между несколькими пользователями и используется для данных, которые являются «взрывными» по природе, такие как служба просмотра web-браузеров, заявки, которые могут «взорваться» от события или по времени (например, во время чемпионата мира по футболу).

Физические каналы

Первичный общий физический канал управления (*PCCPCH — Primary Common Control Physical Channel*) (от станции к UE). Этот широковещательный канал непрерывно передает системную идентификацию и информацию управления доступом.

Вторичный общий физический канал управления (*SCCPCH — Secondary Common Control Physical Channel*) (от станции к UE) Этот канал доставляет информацию канала прямого доступа FACH и широковещательного канала вызова PCH с сообщениями для UE, которые зарегистрированы на сети.

Физический канал произвольного доступа (*PRACH — Physical Random Access Channel*) (канал связи от UE к станции). Этот канал дает возможность UE передать сообщения произвольного доступа при попытке обращения к сети.

Специализированный (*выделенный*) *физический канал данных* (*DPDCH — Dedicated Physical Data Channel*) (двунаправленный). Этот канал используется для передачи пользовательских данных.

Специализированный (*выделенный*) *физический канал управления* (*DPCCH — Dedicated Physical Control Channel*) (двунаправленный). Этот канал доставляет управляющую информацию к/от UE. В обоих направлениях канал доставляет биты информации пилотного канала и идентификатор объединенного транспортного формата (TFI — Transport Format Combination Identifier). Канал связи от станции к UE содержит также информацию управления мощностью передатчика и информацию обратной связи (FBI — Feedback Information).

Общий пилот-канал (*CPICH — Common Pilot Channel*). Информация по этому каналу передается каждым узлом B для того, чтобы UE были способны поддерживать синхронизацию. Дополнительно эта информация должна быть использована для того, чтобы UE могли определить при перемещении соту, имеющую наиболее высокий уровень сигнала.

Канал индикации вхождения в синхронизм (*AICH — Acquisition Indicator Channel*). AICH используется, чтобы сообщить UE данные о канале данных (DCH), он может использоваться для установления связи с узлом B. Это назначение канала возникает как результат успешного запроса службы произвольного доступа от UE.

Физический совместно используемый канал по направлению «вниз» (*PDSCH — Physical Downlink Shared Channel*) (от станции к UE). Этот канал совместно используется для пересылки управляющей информации к различным UE в пределах области охвата узла B.

Канал синхронизации (*SCH — Synchronizing Channel*). Канал синхронизации используется UE с *общим пилотным каналом* (*CPICH*). Информация по этому каналу передается каждым узлом B для того, чтобы UE были способны

поддерживать синхронизацию с точки зрения уровня сигнала. Как указывалось, дополнительно они могут использоваться как средство определения UE лучшей соты при перемещении.

Канал индикации вызова (*PICH — Paging Indication Channel*) Этот канал обеспечивает информацией UE в неактивном состоянии и сохранность ресурсов батареи при слежении в этом режиме за широковещательным каналом вызова (PCH). PICH обеспечивает UE момент дезактивации.

Канал индикации состояния CPCH (*CSICH — CPCH Status Indication Channel*) — это канал, который применяется только по направлению от станции к UE для передачи информации о состоянии вызова. Он может также использоваться для передачи излишней нагрузки при ее всплеске или прерывистом характере.

Обнаружение конфликтов/канал индикации назначения канала (*CD/CAICH — Collision Detection/Channel Assignment Indication Channel*). Этот канал используется в направлении от станции к UE для того, чтобы указать, можно ли назначенный канал использовать сразу или необходимо ожидание.

3.4. Общая модель протоколов UMTS

Общая модель протоколов UMTS показана на рис. 3.11. Она построена по принципу модели протоколов B-ISDN на основе взаимодействующих уровней и плоскостей.

Потоки информации, проходящие через UTRAN, логически делятся на две части:

- слой доступа (access stratum, AS) — информация, необходимая для взаимодействия UE и UTRAN;
- слой без доступа (non-access stratum, NAS) — информация, переносимая между CN и UE через UTRAN.

В состав слоя без доступа входят протоколы верхнего (пользовательского) уровня, которые не занимаются проблемами доступа, а связаны только с услугами [113].

Плоскость управления

Протоколы *плоскости управления* (*C-plan*) определяют все функции сигнализации, установления, контроля и разъединения соединений. Кроме этого она включают в себя несколько прикладных протоколов, которые позволяют поддерживать сигнализацию на различных участках сети (рис. 3.11). Это протоколы:

- RANAP (RAN Application), предназначенный для управления задачами сигнализации на участке радиодоступа (RNC–MSC), как часть интерфейса Iub;
- RNSAP (Radio Network System Application), предназначенный для управления задачами сигнализации на участке радиосети (на участке RNC–RNC), как часть интерфейса Iur;
- NBAP (Network Base station Application), предназначенный для управления задачами сигнализации на участке между базовыми станциями и RNC.

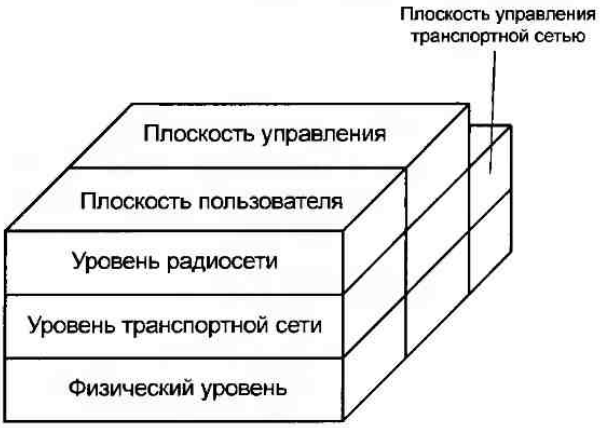


Рис. 3.11. Модель протоколов UMTS

Плоскость пользователя

Плоскость пользователя (U-plane) включает транспортировку всех видов информации в совокупности с соответствующими механизмами защиты от ошибок, контроля и управления потоком. Вся информация, передаваемая и принимаемая пользователем, например, кодированная речь при речевом вызове или пакеты при соединении с Интернет, передается через плоскость пользователя. Каждый поток данных характеризуется одним или несколькими типами кадров, указанных в интерфейсе для конкретного типа информации.

Плоскость управления транспортной сетью

Поскольку сеть UTRAN рассчитана на передачу высокоскоростной информации, в наземной части она базируется на сети ATM. Для этой сети характерно, что для сигнализации используется сеть отдельных виртуальных каналов (SVC — Signaling Virtual Channel), предназначенных только для пе-

редачи сигналов управления, взаимодействия и технического обслуживания. Некоторые приложения могут требовать создания нескольких (постоянных или временных) виртуальных каналов. Например услуги мультимедиа могут потребовать установления отдельных каналов сигнализации для услуг речи, видеоизображения и передачи данных. Каналы сигнализации могут быть одно- или двунаправленными, симметричными (одинаковая скорость в обоих направлениях) и асимметричными (различные скорости в противоположных направлениях).

Виртуальные каналы могут быть:

– виртуальным каналом метасигнализации;
– общим широковещательным каналом;
– селективным широковещательным виртуальным каналом сигнализации;
– виртуальным каналом «точка–точка».

Плоскость управления транспортной сетью используется для управления организацией указанных выше каналов сигнализации на транспортном уровне. Она не охватывает уровня радиосети. Для сети UMTS в нее включается протокол управления звеном доступа ALCAP (Access Link Control Application), который необходим для установления транспортных B-каналов для плоскости пользователя. Например, для установления каналов сигнализации «точка–точка» и для установления канала сигнализации в соответствии с услугами, предоставляемыми данному пользователю.

Когда используется плоскость управления транспортной сетью, каналы сигнализации пользователя устанавливаются по входному сообщению (транзакции) от прикладного протокола на плоскости управления, которое запускает установление этих каналов с помощью одной из частей протокола ALCAP, специально предназначенного для передачи информации в плоскости пользователя.

Следует отметить, что протокол ALCAP может и не потребоваться, например в случае, когда используются сети с заранее заданной конфигурацией каналов сигнализации. Тогда протокол ALCAP не запускается.

Спецификации UMTS предполагают, что запуск системы по протоколам ALCAP всегда осуществляется с помощью действий персонала по эксплуатации и обслуживанию (O&M).

3.5. Интерфейсы отдельных участков

На рис. 3.12 представлено сквозное представление протоколов плоскости управления сети UMTS. Это рисунок показывает набор протоколов, которыми пользуется каждый элемент сети для передачи сообщений сигнализации.

Устройство пользователя UE использует две группы протоколов:

- прикладные протоколы: управление мобильностью — MM, управление соединением — CM;
- управления радиоресурсами (RRC) — транспортные протоколы для организации передачи информации: управление радиоканалом (звеном) — RLC, управление доступом к среде — MAC.

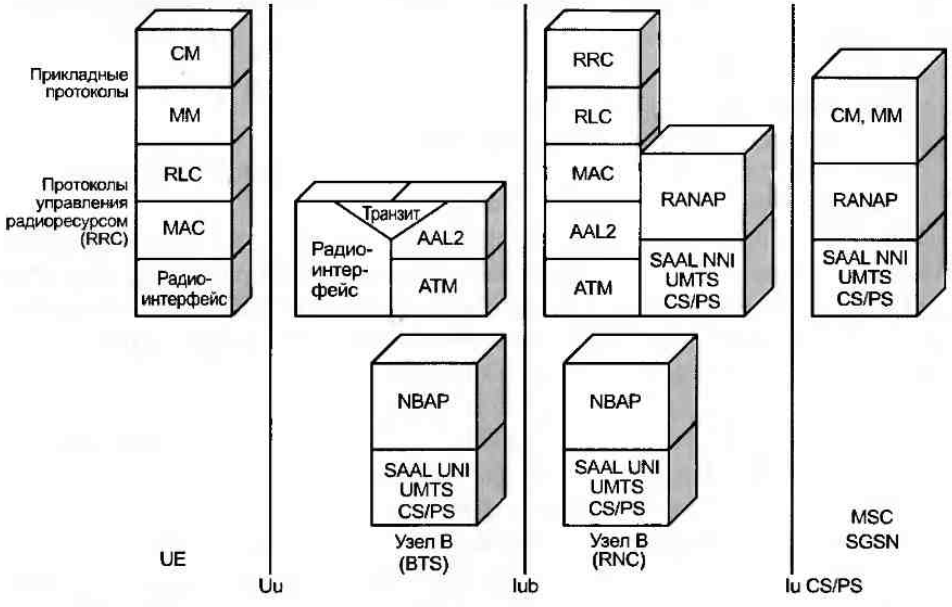


Рис. 3.12. Сквозное представление протоколов плоскости управления сети UMTS:

AAL2	ATM Adaptation Layer 2	Уровень адаптации ATM
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Режим асинхронной передачи
BTS	Base Transceiver Station	Базовая приемопередающая станция
CM	Connection Management	Управление соединением
Iub		Интерфейс между узлом B и RNC
Iu CS	Iu Circuit Switching	Интерфейс между RNC и MSC
Iu PS	Iu Packet Switching	Интерфейс между RNC и SGSN
MAC	Media Access Control	Управление доступом к среде
MM	Mobile Management	Управление мобильностью
MSC	Mobile Switching Station	Центр коммутации мобильной связи
NBAP	Network Base station Application Protocol	Прикладной протокол взаимодействия базовых станций
RANAP	RAN Application	Прикладной протокол сети радиодоступа
RLC	Radio Link Control	Управление радиоканалом (звеном)
RNC	Radio Network Controller	Контроллер радиосети
RRC	Radio Recourse Control	Управление радиоресурсом
SAAL NNI	Signaling AAL NNI	Уровень адаптации сигнализации «сеть–сеть»
SAAL UNI	Signaling AAL UNI	Уровень адаптации сигнализации «пользователь–сеть»
SGSN	Serving GRPS Support Node	Узел обслуживания с поддержкой GPRS
UE	User Equipment	Оборудование пользователя
Uu		Интерфейс UE — узел B

Для сообщений этих протоколов узел В (BTS) «прозрачен» [87]. Он передает их в RNC, преобразуя радиосигналы в сигналы сети ATM с помощью протоколов уровня адаптации ATM 2 (AAL2). Уровень AAL2 предназначен для обеспечения управления эффективной пропускной способностью передачи трафика коротких пакетов с низкой битовой скоростью, требующих малой временной задержки.

3.5.1. Уровень управления радиоресурсами

Уровень протоколов управления радиоресурсами RRC (Radio Resource Control) — совокупность протоколов верхнего уровня [57], которая является частью интерфейса Iub. Процедуры и сообщения подсистемы управления радиоресурсами приведены в табл. 3.4.

В RRC входят следующие протоколы:

- прикладные протоколы RRC;
- протоколы управления каналом связи (RLC);
- протоколы управления доступом к среде (MAC);

RRC выполняет следующие функции:

- распределяет заявки по уровням на стороне пользовательского оборудования или на стороне сети UTRAN;
- реализует функции — широковещательное управление, доставку широковещательных сообщений;
- оповещает пользовательские терминалы UE о состоянии сети и радиоресурсов;
- рассылает информацию по радиосети;
- рассылает информацию всем уровням сети;
- устанавливает, обслуживает и освобождает RRC-соединения между UE и UTRAN;
- осуществляет установление, реконфигурацию и освобождение радионосителей;
- осуществляет назначение, реконфигурацию и освобождение радиоресурсов для RRC-соединения;
- обеспечивает функции мобильности соединения;
- формирует UE-сообщение о результатах измерения;
- осуществляет управление мощностью;
- управляет шифрованием;
- осуществляет выбор и перевыбор первичной соты;
- обеспечивает достоверность информации.

Уровень RRC обеспечивает соединения сигнализации с верхними уровнями с целью поддержания обмена информационными потоками между про-

цессами верхнего уровня. Сигнальное соединение используется для передачи информации верхнего уровня между пользовательским оборудованием и основной сетью. Для каждой локальной области сети сигнальное соединение может обслуживать в каждый момент времени только один вызов. В табл. 3.5 приведены процедуры и сообщения подсистемы управления радиоресурсами.

Таблица 3.5. Процедуры и сообщения подсистемы управления радиоресурсом (RRC)

Сообщение (англ)	Сообщение (рус)	UTRAN-процедура	Направление	Тип канала
UE Capability Information	Информация о возможностях UE	Установление сигнального соединения в NAS	UE ⇒ SRNC	DCCH
Direct Transfer	Прямой обмен	Установление сигнального соединения в NAS	UE ⇔ SRNC	DCCH
RRC Connection Request	Запрос RRC-соединения	Установление RRC-соединения	UE ⇒ SRNC	CCCH
RRC Connection Setup	Установление RRC-соединения	Установление RRC-соединения	SRNC ⇒ UE	CCCH
RAB Setup	Установление RAB-соединения.	Установление RAB-соединения	SRNC ⇒ UE	DCCH
RAB Setup Complete	Установление RAB-соединения закончено	Установление RAB-соединения закончено	UE ⇒ SRNC	DCCH
RAB Release	Разъединение RAB-соединения	Разъединение RAB-соединения	SRNC ⇒ UE	DCCH
RAB Release Complete	Разъединение RAB-соединения закончено	Разъединение RAB-соединения с UE закончено	UE ⇒ SRNC	DCCH
Handover Command	Команда хэндовера	Жесткий хэндовер	SRNC ⇒ UE	DCCH
Active Set Update	Обновление активного набора	Мягкий хэндовер	SRNC ⇒ UE	DCCH
Active Set Update Complete	Обновление активного набора закончено	Мягкий хэндовер	UE ⇒ SRNC	DCCH
Paging	Оповещение	Оповещение для UE в RRC в режиме соединения	SRNC ⇒ UE	DCCH

RAB — Radio Access Bearer — основа радиодоступа.
SRNC — Serving RNC — обслуживающий RNC.
NAS — Non-Access Stratum — слой без доступа.

Протокол управления радиоканалом связи (RLC)

Протокол управления радиоканалом (RLC) [117, 124] при передаче информации обеспечивает 3 режима работы:

1. Передача информации в режиме прозрачного обслуживания TrD (Transparent mode Data).

2. Передача информации в режиме без подтверждения правильного приема данных (UMD — Unacknowledged Mode Data);

3. Передача и получение информации в режиме с подтверждением правильного приема данных (AMD — Acknowledged Mode Data).

RLC выполняет следующие функции:

– сегментация и сборка сервисных блоков данных;
– последовательное соединение (конкатенация);
– дополнение информации для согласования форматов (например, нулей);
– передача пользовательских данных;
– коррекция ошибок;
– доставка протокольных блоков высокого уровня в исходном порядке следования ;
– управление потоком;
– проверка порядкового номера;
– обнаружение ошибок протокола и восстановление;
– шифрование;
– приостановка/возобновление функций.

Передаваемые блоки данных. Они могут содержать данные или сообщения управления протоколов сигнализации.

В соответствии с режимами протокол использует различные форматы:

Формат TrD (*блок, передаваемый в прозрачном режиме*). Формат TrD используется для того, чтобы передать с помощью RLC данные, поступившие от обслуживаемого уровня, не добавляя никаких заголовков.

Формат UMD (*блок передачи информации в режиме без подтверждения о приеме данных*). Формат UMD используется для того, чтобы передать последовательно пронумерованные протокольные блоки данных (PDU), содержащие RLC-данные исходного сервисного блока данных (SDU). При этом исходные данные сегментируются для включения в протокольные блоки. При таком режиме сегменты передаются без подтверждения правильности приема сегментов и их сборки.

Заголовок UMD PDU в первом октете содержит порядковый номер первого сегмента блока данных (для этого используются 7 старших разрядов). Далее заголовок RLC содержит индикаторы, указывающие длину каждого сегмента, начиная с первого.

Формат AMD (*блок приема и передачи в режиме обслуживания с подтверждением о приеме данных*). Как и в предыдущем случае, формат AMD используется для того, чтобы передать последовательно пронумерованные PDU, содержащие RLC-данные исходного блока SDU. Однако формат AMD

передает помимо пользовательских данных и другую информацию, позволяющую подтвердить правильный прием сегментов и поддержать процессы повторной передачи. Эта информация позволяет:

– сообщить передатчику о непринятых протокольных блоках, содержащих часть сегментов исходной информации;
– сообщить передатчику данные о согласовании скоростей передачи;
– сообщить приемнику данные о согласовании скоростей передачи.

Формат с вложением состояния PDU (*Piggybacked Status PDU*) наряду с пользовательскими данными содержит дополнительно вложенные данные для управления (например, данные о состоянии оборудования, сброса оборудования или таймеров в исходное состояние и др.).

Подробное описание этих форматов приведено в [117, 124].

Протокол управления доступом к среде

Протокол управления доступом к среде MAC (Media Access Control) обеспечивает услуги передачи данных по логическим каналам [126]. Используемый этим протоколом набор типов логических каналов определяется видами услуг передачи данных.

Уровень MAC включает несколько групп протоколов:

– MACb — протоколы работы с широковещательными каналами (BCH — Broadcast Channel);
– MACc/sh — протоколы работы с общими каналами управления (CCCH — Common Control Channels);
– MACd — протоколы работы с выделенными каналами управления (DCCH — Dedicated Control Channel).

Каждый протокольный блок данных (PDU) содержит заголовок опции MAC и заголовок сервисного блока данных (MAC SDU). Оба этих заголовка имеют переменный размер.

Содержание и размер заголовка MAC зависят от типа логического канала, и в некоторых случаях не указывается ни один из параметров этих заголовков. Размер MAC SDU зависит от размера протокольного блока данных предыдущих уровней, который определяется в процедуре установки протоколов. Структура заголовка протокола MAC представлена на рис. 3.13.

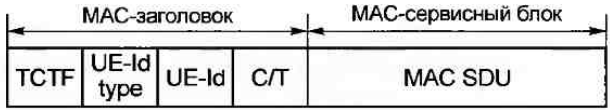


Рис. 3.13. Структура заголовка MAC

TCTF (Target Channel Type Field) — поле назначения канала. Оно обеспечивает идентификацию логического класса каналов, которые подразделяются на каналы случайного доступа (RACH) и каналы прямого доступа (FACH). Размер поля TCTF FACH для FDD — 2 или 8 битов в зависимости от двух старших битов, для TDD — 3 либо 5 битов в зависимости от значения трех старших разрядов. TCTF для TDD — 2 либо 4 разряда в зависимости от значения двух старших битов.

Поле UE-Id type — поле длиной 2 бита, необходимое для того, чтобы гарантировать правильную расшифровку поля UE-Id в заголовках MAC.

Значения этого поля:

00 — U-RNTI (UMTS Radio Network Temporary Identity) — вре́менный идентификатор радиосети, входящей в UMTS;

01 — C-RNTI (Cell Radio Network Temporary Identity) — вре́менный идентификатор соты радиосети;

10 — зарезервированы (PDU с этим кодом будет отклонен этой версией протокола);

11 — зарезервированы (PDU с этим кодом будет отклонен этой версией протокола).

Поле UE-Id обеспечивает идентификацию UE при передаче по транспортным каналам. Определены следующие типы UE-Id, используемые в MAC:

- U-RNTI — может использоваться в заголовке MAC в выделенном канале управления (DCCH), когда он размещен в обычном транспортном канале;
- C-RNTI — используется в канале передачи данных (Date Transmission Channel) и в канале синхронизации данных (Date Synchronizer Channel) в режиме FDD и может использоваться в выделенном канале управления DCCH; размещается в обычных транспортных каналах.

Длина поля UE-Id заголовка MAC следующая:

- U-RNTI — 32 бита;
- C-RNTI — 16 битов.

Поле C/T обеспечивает идентификацию типа логического канала, когда имеется много логических каналов в одном и том же транспортном канале. В этом случае используется также для идентификации логического типа канала на выделенных транспортных каналах и на FACH и RACCH, когда для их передачи используются пользовательские каналы передачи данных. Размер поля C/T — 4 бита. Он установлен и для обычных транспортных каналов, и для выделенных транспортных каналов.

Поле C/T имеет следующие значения:

- 0000 — логический канал 1;
- 0001 — логический канал 2;
- ...

– 1110 — логический канал 15;
– 1111 — зарезервировано (PDU с таким кодом будут отклонены).

3.5.2. Прикладные протоколы

Управление соединением

Управление соединением (CM — Connection Management) обрабатывает общий процесс управления установлением соединения, разъединения и управляет дополнительными услугами, а также службой передачи коротких сообщений. Он участвует в обслуживании следующих процедур:

– установление вызова;
– прекращение вызова (разъединение, освобождение приборов);
– процедур в фазе обмена информацией: хэндовер, переадресация соединения и другие.

Формат сообщения этого протокола представлен на рис. 3.14. Значения поля «тип сообщения» формата CM приведены в табл. 3.6.

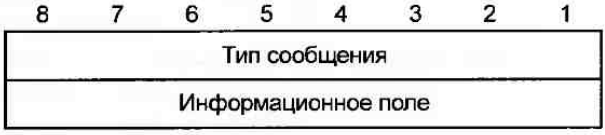


Рис. 3.14. Формат сообщения протокола CM

Таблица 3.6. Значение поля «тип сообщения» в формате протокола CM

Шестнадцатиричный код	Функциональное назначение	
0x01	Alerting	Оповещение (вызывной сигнал)
0x02	Call Proceeding	Установление вызова
0x03	Progress	Продвижение соединения
0x04	CM Establishment	Установка CM
0x05	Setup	Вызов
0x06	CM Establishment Confirmed	Подтверждение установления CM
0x07	Connect	Соединение
0x08	Call Confirmed	Подтверждение вызова
0x09	Start CM	Старт CM
0x0B	RECALL	Повторный вызов
0x0E	Emergency Setup	Аварийный вызов
0x0F	Connect Acknowledge	Подтверждение вызова

Продолжение таблицы 3.6

Шестнадцатиричный код	Функциональное назначение	
0x10	User Information	Пользовательская информация
0x13	Modify Reject	Остановка модификации
0x17	Modify	Модификация
0x18	Hold	Удержание
0x19	Hold Acknowledge	Подтверждение удержания
0x1A	Hold Reject	Остановка удержания
0x1C	Retrieve	Извлечь

Управление мобильностью (MM — Mobility Management)

Управление мобильностью (MM — Mobility Management) [117] выполняет функциии управления обновлением местоположения и процедурами регистрации, а так же защитой и аутентификацией. Формат MM показан на рис. 3.15.

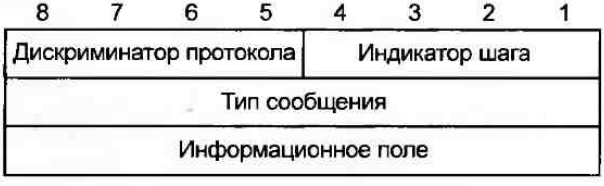


Рис. 3.15. Формат протокола MM

Поля формата имеют следующие значения:
– Дискриминатор протокола — 0101
– Индикатор шага обычно равен — 0000.
Значение поля «тип сообщения» в формате протокола MM указан в табл. 3.7.

Таблица 3.7. Значения поля «тип сообщения» формата протокола MM

0x00	Код	Сообщения регистрации	
	0001	IMSI Detach Indication	Выделение IMSI
	0010	Location Updating Accept	Принят запрос на обновление местоположения
	0100	Location Updating Reject	Приостановка обновления местоположения
	1000	Location Updating Request	Требование на обновление местоположения

Продолжение таблицы 3.7

0x01	Код	Сообщения безопасности	
	0001	Authentication Reject	Приостановка аутентификации
	0010	Authentication Request	Запрос на аутентификацию
	0100	Authentication Response	Ответ на аутентификацию
	1000	Identity Request	Запрос идентификации
	1001	Identity Response	Ответ на идентификацию
	1010	TMSI Relocation Command	Команда на перемещение TMSI
	1011	TMSI Relocation Complete	Перемещение TMSI завершено
0x10	**Код**	**Сообщения управления соединением**	
	0001	CM Service Accept	Принятие запроса на обслуживание CM
	0010	CM Service Reject	Обслуживание CM приостановлено
	0011	CM Service Abort	Обслуживание CM прервано
	0100	CM Service Request	Запрос на обслуживание CM
	1000	CM Reestablishment Request	Перезапрос CM
	1001	Abort	Остановка
0x11	**Код**	**Прочие сообщения**	
	0001	MM Status	Состояние MM

3.5.3. Протоколы различных уровней в системе UMTS

Три плоскости в интерфейсе Iub используют общие средства передачи в режиме ATM для всех плоскостей. Физический уровень представляет собой интерфейс с физической средой: волоконно-оптическими кабелями, радиоканалом или медным кабелем. Реализация на физическом уровне может выбираться из большого ряда имеющихся на сегодняшний день стандартных технологий передачи: SONET, SDH и др.

Принцип работы уровня адаптации протоколов сигнализации (плоскость управления) в режиме ATM изложен в [19]. Рассмотрим два случая.

Основная сеть (CN) применяет технологию коммутации каналов (CS). В этом случае задачу адаптации решает уровень адаптации для сигнализации (S-AAL Signaling ATM Adaptation Layer). Протоколы этого уровня содержат следующие подуровни (рис. 3.16):

– сервисно-ориентированные функции координации (SSCF — Service Specific Coordination Function), которые разделяются на функции для интерфейса «пользователь–сеть» (SSCF UNI — User-Network Interface) и «сеть–сеть» (SSCF NNI — Network-Network Interface);

– сервисно-ориентированный протокол с установлением соединения (SSCOP — Service Specific Connection Oriented Protocol);
– общие протоколы уровня адаптации (для UMTS обычно пятый уровень адаптации AAL5, предназначенный для высокоскоростной передачи данных).

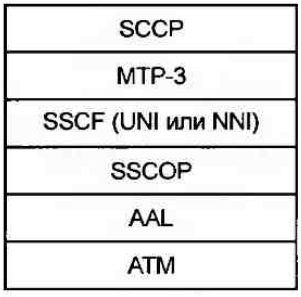


Рис. 3.16. Структура уровня адаптации ATM протоколов сигнализации UMTS (плоскость управления) для сети с коммутацией каналов

Для управления сигнализацией применяются также некоторые из уровней систем сигнализации по общему каналу. Эти уровни рассмотрены в [1, 10, 11, 17, 35]. К ним относятся:

– SCCP (Signaling Connection Control Part) — подсистема управления соединениями сигнализации. Кратко этот уровень был рассмотрен при описании протоколов GSM. Подсистема предназначена для обеспечения логических соединений при передаче блоков данных сигнализации;
– MTP-3 — подсистема передачи сообщений третьего уровня, обеспечивает сетевые функции, например, маршрутизацию сигнальных сообщений, управление потоками сигнализации, переход на резерв и т.д.

При выполнении функций могут быть отдельные отклонения. Например, пакет протоколов для плоскости управления транспортной сетью состоит из протокола сигнализации для установления соединений AAL2 (Q.2630.1) и уровня адаптации (Q.2150.1) без уровня SCCP.

Основная сеть (CN) применяет технологию пакетной коммутации (PS). Тогда применяются средства, используемые в сети Интернет (рис. 3.17).

MUA-3 (Mail User Agent) — протокол агента пользователя (почты) третьего уровня. Этот протокол позволяет подключаться к хосту Интернета.

SCTP (Stream Control Transmission Protocol) — транспортный протокол управления потоком. Он был введен в стек протоколов TCP/IP-2000 [112]. Это новый транспортный протокол, который вводится на транспортном

уровне наряду с существующими протоколами IP и UDP. Он обеспечивает достоверность передачи информации по сети без ошибок и нарушения последовательности. Подобно TCP он ориентирован на систему с установлением соединения. В отличие от TCP он обеспечивает транспортировку сообщений сигнализации с учетом особенностей этой информации. Подробно протокол рассмотрен в [112].

Для плоскости управления транспортным уровнем сети с коммутацией пакетов в целях адаптации к сети ATM применяется протокол GTP (GPRS Tunnelling Protocol) — протокол туннельной проводки GPRS. Туннельная проводка допускает прозрачную передачу информации между различными узлами, т.е. без ее обработки и преобразования.

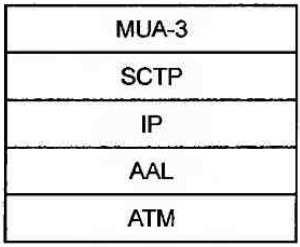


Рис. 3.17. Структура уровня адаптации ATM протоколов сигнализации UMTS (плоскость управления) для сети с коммутацией пакетов

3.6. Процедуры сигнализации UTRAN

По сравнению с системой GSM система UMTS имеет много дополнительных возможностей по управлению соединениями и услугами. Это объясняется, в первую очередь, следующими обстоятельствами:

- наличием дополнительных каналов между RNC (контроллерами управления радиосетью) по интерфейсу Iur;
- возможностью одновременной работы UE с несколькими узлами B (BTS).

Кроме того, добавляются процедуры взаимодействия с существующей сетью GSM. Поэтому количество возможных процедур велико. Рассмотрим только некоторые из них. Большое число примеров процедур сети UMTS приведено в документах группы 3GPP [58, 118, 126, 129], а также в источниках [88, 89, 99, 100, 116, 118].

На рис. 3.18 показаны каналы и протоколы UE и UTRAN, применяемые при установлении и в процессе соединения [116, 118]. Состав сигналов, процедур и сообщений прикладного уровня приведен в табл. 3.8–3.10.

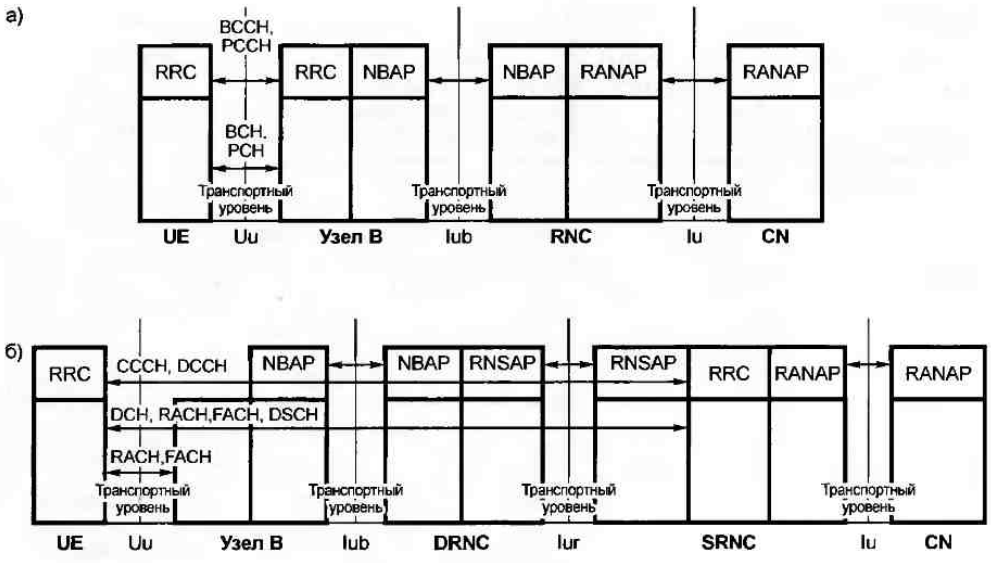


Рис. 3.18. Каналы и протоколы UE и UTRAN (плоскость управления):
а) в режиме «свободно»; б) в режиме «соединение»

3.6.1. Протоколы прикладного уровня сети радиодоступа

RANAP (*RAN Application Protocol*) — *прикладной протокол сети радиодоступа в интерфейсе Iub*. Он управляет сигнализацией и установлением каналов туннельной проводки (GTP — GPRS Tunneling Protocol), т.е. каналов прозрачной передачи данных между контроллером управления радиосетью (RNC), узлом обслуживания с поддержкой GPRS (SGSN), а также сигнализацией и установлением каналов сигнализации с MSC для систем третьего поколения [87, 113]. Он также обеспечивает канал сигнализации для прозрачной передачи сообщений между UE и базовой сетью (CN). Протокол RANAP обеспечивает процедуры для доступа к радиосредствам, службам RNC, а также процедуры перехода к другой станции.

RANAP обеспечивает три типа услуг:

– общие услуги управления;

– услуги уведомления;

– специализированные услуги управления.

Процедуры и сообщения прикладного уровня сети радиодоступа (RANAP) показаны в табл. 3.8.

Таблица 3.8. Процедуры и сообщения прикладного уровня сети радиодоступа

Сообщение (англ)	Сообщение (рус)	Процедура UTRAN	Направление
Initial UE Message	Первоначальное сообщение UE	Установление сигнального соединения NAS (Non-Access Stratum) в системе, не разделенной на уровни	RNC-источник ⇒ CN
RAB (Radio Access Bearer) Assignment	Назначение средств радиодоступа (RAB)	Запрос на установление средств радиодоступа (RAB) Освобождение RAB Обмен между RNC при хэндовере между CN	RNC-источник ⇒ CN RNC-источник ⇒ CN RNC-источник ⇒ CN
RAB Assignment Complete	Назначение средств радиодоступа	Установление RAB Освобождение RAB	RNC-источник ⇒ CN RNC-источник ⇒ CN
Relocation Required	Затребовано изменение местоположения	Хэндовер между RNC с переключением узла основной сети (CN) Хэндовер UTRAN ⇒ GSM/BSS Хэндовер GSM/BSS ⇒ UTRAN Изменение местоположения RNC-источника	CN ⇒ Целевой RNC CN ⇒ Целевой RNC CN ⇒ Целевой RNC CN ⇒ Целевой RNC
Relocation Request	Запрос на изменение местоположения	Хэндовер между RNC с переключением узла основной сети (CN) Хэндовер UTRAN ⇒ GSM/BSS Хэндовер GSM/BSS ⇒ UTRAN Изменение местоположения RNC-источника	CN ⇒ Целевой RNC CN ⇒ Целевой RNC CN ⇒ Целевой RNC CN ⇒ Целевой RNC
Relocation Request Acknowledge	Подтверждение запроса изменения местоположения	Жесткий хэндовер с переключением в CN Хэндовер GSM/BSS ⇒ UTRAN Изменение местоположения RNC-источника	Целевой RNC ⇒ CN Целевой RNC ⇒ CN Целевой RNC ⇒ CN
Relocation Command	Команда на изменение местоположения	Жесткий хэндовер с переключением в CN Изменение местоположения RNC-источника	CN ⇒ RNC-источник CN ⇒ RNC-источник
Relocation Detect	Изменение местоположения обнаружено	Жесткий хэндовер с переключением в CN Хэндовер GSM/BSS ⇒ UTRAN	Целевой RNC ⇒ CN Целевой RNC ⇒ CN
Relocation Complete	Изменение местоположения закончено	Жесткий хэндовер с переключением в CN Хэндовер GSM/BSS ⇒ UTRAN Изменение местоположения RNC-источника	Целевой RNC ⇒ CN Целевой RNC ⇒ CN Целевой RNC ⇒ CN
Relocation Failure	Ошибка при изменении местоположения	Изменение местоположения RNC-источника	RNC-источник ⇒ CN
Iu Release Command	Команда разъединения Iu	Жесткий хэндовер с переключением в CN Изменение местоположения RNC-источника Хэндовер UTRAN ⇒ GSM/BSS	CN ⇒ RNC CN ⇒ RNC-источник CN ⇒ RNC-источник
Iu Release Complete	Разъединение Iu закончено	Жесткий хэндовер с переключением в CN Изменение местоположения RNC-источника Хэндовер UTRAN ⇒ GSM/BSS	Целевой RNC ⇒ CN Целевой RNC ⇒ CN Целевой RNC ⇒ CN
Paging	Оповещение	Оповещение	CN ⇒ RNC-источник

3.6.2. Прикладной протокол взаимодействия базовых станций

Прикладной протокол взаимодействия базовых станций (NBAP — Network Base station Application Protocol) используется для работы по интерфейсу Iur. Он включает в себя общие и специализированные процедуры, охватывая процедуры для широковещательного распределения информации, запроса.

Подобно большинству протоколов, основанных на нотации абстрактного синтаксиса (abstract syntax notation one), протокол NBAP может передавать много типов сообщений, которые доставляют большой объем данных.

Заголовок протокола NBAP организован таким образом, что каждый PDU NBAP имеет уникальный формат заголовка, который содержит некоторое число полей. На рис. 3.19 приводится пример первоначального сообщения PDU NBAP.

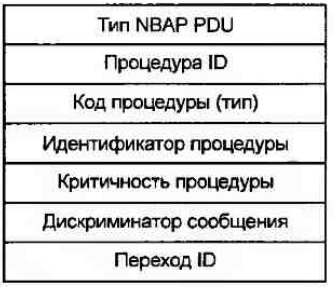


Рис. 3.19. Первоначальное сообщения NBAP

Протокол реализован с использованием правил ASN.1 — формального языка для определения объектов [69].

Сообщение содержит следующие поля:

Тип NBAP PDU. Тип передаваемого протокольного блока данных.

Процедура ID. Должна использоваться при диагностике, как часть процедуры обнаружения ошибки (error indication).

Код процедуры. Вместе с полем «тип протокольного блока данных» уникально идентифицирует передаваемое сообщение.

Критичность процедуры. Используется, чтобы известить о критичности запускающего сообщения (процедуры).

Дискриминатор сообщения. Используется для того, чтобы различить специализированные и общие (обычные) сообщения NBAP.

Переход ID. Используется, чтобы связать все сообщения, принадлежащие одной и той же процедуре.

Процедуры и сообщения NBAP приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.9. Процедуры и сообщения прикладного протокола взаимодействия базовых станций (NBAP)

Сообщение (англ.)	Сообщение (рус.)	Процедура UTRAN	Направление
Radio Link Setup	Вызов радиосоединения	Установление RRC-соединения Жесткий хэндовер Мягкий хэндовер	RNC ⇒ Node B RNC ⇒ Node B RNC ⇒ Node B
Radio Link Setup Response	Ответ на вызов радиосоединения	Ответ на: установление RRC-соединения жесткий хэндовер мягкий хэндовер	 Node B ⇒ RNC Node B ⇒ RNC Node B ⇒ RNC
Radio Link Addition	Дополнение радиосоединения	Мягкий хэндовер	RNC ⇒ Node B
Radio Link Addition Response	Ответ на дополнение радиосоединения	Ответ на мягкий хэндовер	RNC ⇒ Node B
Radio Link Deletion	Удаление радиосоединения	Разъединение RRC-соединения Жесткий хэндовер Мягкий хэндовер	RNC ⇒ Node B RNC ⇒ Node B RNC ⇒ Node B
Radio Link Deletion Response	Ответ на удаление радиосоединения	Ответ на: разъединение RRC-соединения жесткий хэндовер мягкий хэндовер	 Node B ⇒ RNC Node B ⇒ RNC Node B ⇒ RNC
Radio Link Reconfiguration Prepare	Подготовка реконфигурации радиосоединения	Установление соединения RAB Разъединение RAB	RNC ⇒ Node B RNC ⇒ Node B
Radio Link Reconfiguration Ready	Реконфигурация радиосоединения готова	Установление соединения RAB готово Разъединение RAB готово	 Node B ⇒ RNC Node B ⇒ RNC
Radio Link Reconfiguration Complete	Реконфигурация радиосоединения завершена	Установление соединения RAB завершено Разъединение RAB завершено	 RNC ⇒ Node B RNC ⇒ Node B
Paging	Оповещение	Оповещение	RNC ⇒ Node B

3.6.3. Процедуры и сообщения прикладной подсистемы радиосети

Процедуры прикладной подсистемы радиосети (RNSAP — Radio Network Subsystem Application Part) подразделяются на следующие модули:

– управления мобильностью;

– управления по каналу DCH (Dedicated transport Channel);

– глобальные процедуры.

Модули базовых процедур управления мобильностью содержат процедуры, используемые при перемещении внутри сети UTRAN, и управляют транспортными потоками данных по интерфейсу Iur.

DCH-процедуры используются для обработки сообщений, поступающих по каналам DCH между двумя RNC через интерфейсу Iur.

Модуль глобальных процедур содержит процедуры, не относящиеся к специфике UE. Эти процедуры в отличие от упомянутых выше работают по принципу «процесс–процесс».

Заголовок RNSAP имеет вид, представленный на рис. 3.20, а процедуры и сообщения приведены в табл. 3.10.

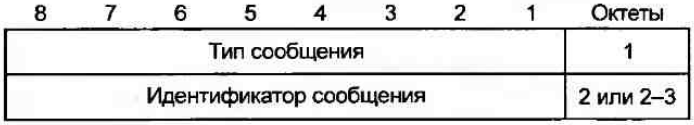


Рис. 3.20. Формат RNSAP

Поля на рис. 3.20 имеют следующие значения [69].

Тип сообщения указывает на модули, перечисленные выше.

Идентификатор сообщения указывает на процедуры (табл. 3.10).

Таблица 3.10. Процедуры и сообщения прикладной подсистемы радиосети

Сообщение (англ)	Сообщение (рус)	Процедура UTRAN	Направление
Radio Link Reconfiguration Prepare	Подготовка реконфигурации радиосоединения	Установление соединения RAB Освобождение RAB	SRNC ⇒ DRNC SRNC ⇒ DRNC
Radio Link Reconfiguration Ready	Реконфигурация радиосоединения подготовлена	Установление соединения RAB подготовлено Освобождение RAB подготовлено	SRNC ⇒ DRNC SRNC ⇒ DRNC
Radio Link Reconfiguration	Реконфигурация радиосоединения	Установление соединения RAB Освобождение RAB	SRNC ⇒ DRNC SRNC ⇒ DRNC
Radio Link Reconfiguration Response	Ответ на реконфигурацию радиосоединения	Ответ на: установление соединения RAB освобождение RAB	DRNC ⇒ SRNC DRNC ⇒ SRNC
Radio Link Reconfiguration Complete	Реконфигурация радиосоединения завершена	Установление соединения RAB завершено Освобождение RAB завершено	SRNC ⇒ DRNC SRNC ⇒ DRNC
Radio Link Addition	Дополнение радиосоединения	Мягкий хэндовер (дополнение)	SRNC ⇒ DRNC
Radio Link Addition Response	Ответ на дополнение радиосоединения	Ответ на мягкий хэндовер	DRNC ⇒ SRNC
Radio Link Deletion	Удаление радиосоединения	Мягкий хэндовер (удаление)	SRNC ⇒ DRNC
Radio Link Deletion Response	Ответ на удаление радиосоединения	Ответ на мягкий хэндовер (удаление)	DRNC ⇒ SRNC
SRNC Relocation Complete	Изменение местоположения SRNC завершено	Изменение местоположения SRNC	SRNC ⇒ Целевой RNC

Процедуры сигнализации изложены в основном документе 3GPP [118]. Описание процедур не является стандартом или типовым примером, оно показывает некоторую технику обмена сигналами и действий в процессе обслуживания заявок пользователей.

3.6.4. Нотация сигнальных процедур

Приводимые ниже сигнальные процедуры показывают последовательность взаимодействия протоколов на различных узлах. Для изображения этих процедур применяются правила, изложенные в документе «Диаграмма обмена последовательностями» и в документе 3GPP «25.931 V1.1.0 1 1999-06».

Они состоят в следующем:

- сообщениями обмениваются только узлы, т.е. передатчик и приемник сообщений не представляют собой объекты протокола (программы);
- объекты протокола указаны внутри графических узлов, из которых посылаются сообщения, и графически представлены эллипсами, содержащими имя протокола этого объекта;
- каждое сообщение пронумеровано, чтобы ниже рисунка можно было дать пояснения в порядке этой нумерации;
- параметры сообщений могут быть при необходимости указаны;
- передача по отдельному сигнальному каналу указана сплошной стрелкой;
- передача по каналу внутри информационного канала показана пунктирной линией;
- описание сложных действий показывается в шестиугольнике в виде имени этого набора действий;
- установление и освобождение интерфейсов Iub/Iur транспортных средств переноса данных (DTB — Data Transport Bearer) с помощью прикладного протокола управления звеном доступа (ALCAP) обозначается специальной фигурой;
- транспортный канал, используемый в протоколе доступа, или логический канал, используемый в RLC или RRC, могут быть указаны перед сообщением.

Учет этих правил необходим для дальнейшего анализа диаграмм рассматриваемых процедур.

3.6.5. Процедура широковещательной передачи информации

Эта процедура глобальная, т.е. относится ко всем элементам сети. Ее диаграмма показана на рис. 3.21. На нем отображен принцип рассылки широковещательных сообщений от базового узла (CN). Широковещательная инфор-

мация, обозначенная на рисунке как системная (оператор 1), передается на управляющий RNC — CRNC (Control RNC). Далее она пересылается на определенный узел B (оператор 2). Этот узел определяет, является ли информация широковещательной, и далее передает ее всем UE в управляемой соте, на рис. 3.21 трем UE (операторы 3–5).

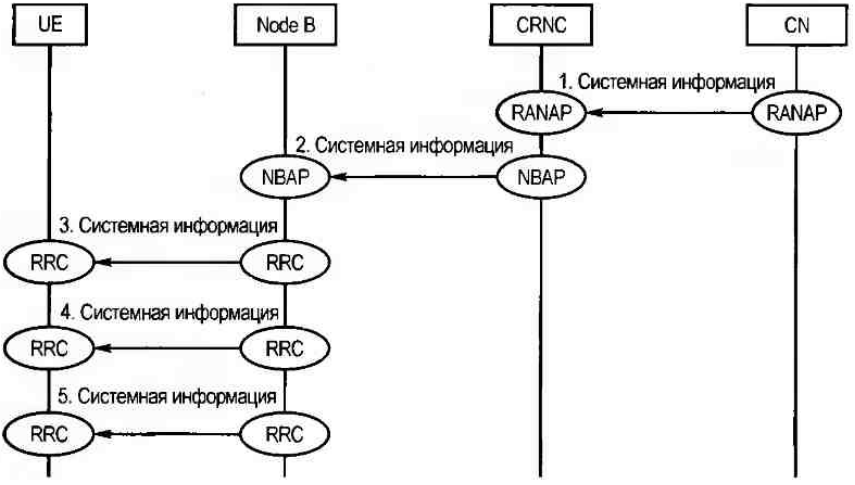


Рис. 3.21. Пример диаграммы обмена сигналами в процедуре широковещательной передачи информации

3.6.6. Процедуры оповещения

В этом разделе рассматриваются примеры двух процедур оповещения (paging):

– оповещение свободного UE (рис. 3.22);

– оповещение UE, имеющего соединение (рис. 3.23).

Первая процедура заключается в том, что станция запрашивает свободный UE. Этот вызов с номером абонента передается по управляемым сотам. Требуемый UE устанавливает сигнальное соединение, после чего базовый узел может начать конкретное взаимодействие.

Рассмотрим первую из указанных процедур — *оповещение (paging) для UE на уровне управления радиоресурсом (RRC) в режиме «свободно»* (рис. 3.22).

1. Основная сеть (CN) инициирует оповещение UE в зоне нахождения (LA — Location Area), охватывающей два RNC (RNC1 и RNC2), с помощью сообщения RANAP (прикладного уровня сети радиодоступа) **оповещение** (paging).

Параметры сообщения: идентификатор UE, тип сообщения — оповещение (широковещательная передача вызова).

2. RNC1 и RNC2 передают это сообщение с помощью NBAP (прикладной подсистемы базовой станции) к соответствующим узлам B (например, Node B 1.1, Node B 1.2).

Параметры сообщения: идентификатор UE.

3. Оповещение UE, выполняемое в соте 1. Надпись «PCCH: Paging» на рис. 3.22 обозначает широковещательную рассылку по широковещательному управляющему каналу оповещения.

4. Оповещение UE, выполняемое в соте 2.

5. UE обнаруживает сообщение оповещения, например от RNC1, и начинает процедуру установления сигнального канала для передачи с помощью слоя без доступа (NAS — Non-Access Stratum). Теперь по установленному сигнальному каналу может идти передача сообщений.

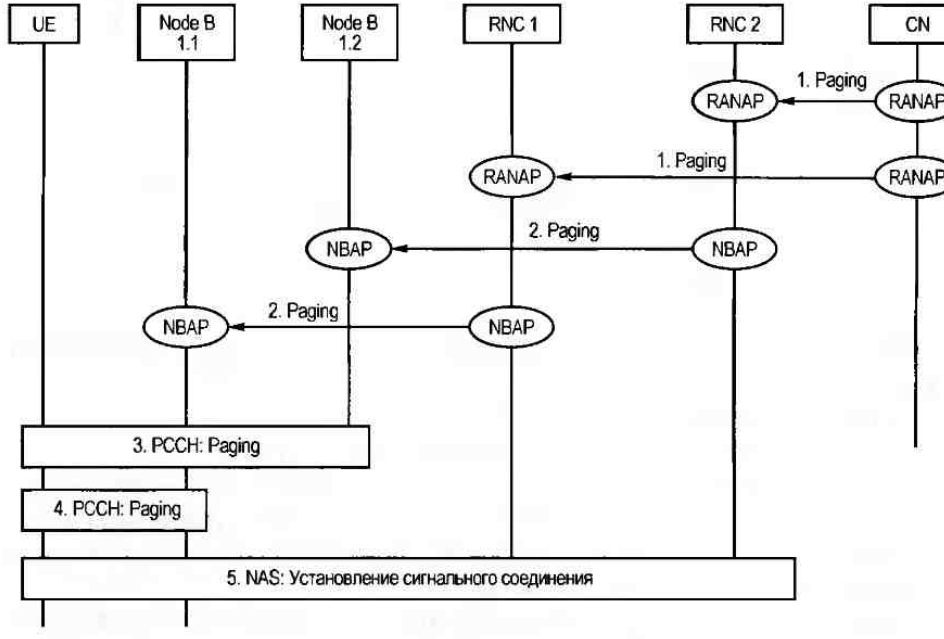


Рис. 3.22. Пример диаграммы обмена сигналами в процедуре оповещения при свободном UE

Рассмотрим вторую процедуру — *оповещение для UE, имеющего соединение на уровне управления радиоресурсом RRC* (рис. 3.23).

В этом случае для передачи широковещательного сообщения применяется выделенный канал управления DCCH (Dedicated Control Channel).

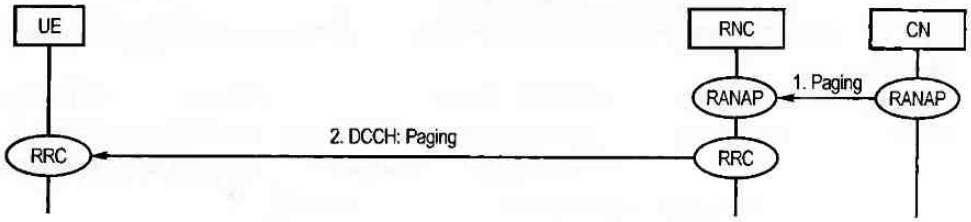


Рис. 3.23. Пример процедуры оповещения UE на уровне управления радиоресурсом в режиме, когда процедуру координирует UTRAN и установлено соединение

Процедура применяется, например, при подготовке к работе со службой коротких сообщений SMS. Последовательность процедуры следующая:

1. Основная сеть инициирует оповещение UE с помощью сообщения RANAP прикладного уровня сети доступа.

2. Обслуживающий RNC (SRNC) передает широковещательное сообщение **оповещение** (paging) с помощью уже установленного выделенного канала управления DCCH, используя протоколы уровня управления радиоресурсами (RRC).

3.6.7. Установление сигнального канала для передачи с помощью системы, не разделенной на уровни

Следующие примеры иллюстрируют установление сигнального соединения либо от UE, либо от CN через слой NAS. Напомним, что NAS — это слой без доступа (Non-Access Stratum) — информация, переносимая между CN и UE через UTRAN.

Установление сигнального соединения NAS от UE

Этот пример (рис. 3.24) показывает установление сигнального соединения NAS от UE, включающего:

1. Установление соединения для работы по протоколу RRC (RRC-соединение, см. сигналы в табл. 3.5).

2. UE посылает контроллеру SRNC сообщение протокола RRC **информация о возможностях** UE

Параметры: возможности UE, например, максимальное число одновременно работающих радиолиний связи, максимальная мощность передатчика, поддерживаемые типы радиодоступа.

Замечание: Для ускорения передачи начального сообщения NAS сообщение RRC **информация о возможностях** может быть передано на шаге 3, после передачи первоначального сообщения.

3. UE передает контроллеру SRNC RNC-сообщение протокола RRC **прямая передача**.

Параметры: сообщение **прямая передача** может содержать, например, запрос уровня CM на услугу, запрос на изменение местоположения, вызов сети GSM, и.т.д.; индикатор основной сети указывает номер узла основной сети (CN), на которую должно быть отправлено сообщение NAS.

4. SRNC инициирует установление сигнального соединения к CN и передает RANAP-сообщение **первоначальное сообщение UE**.

Параметры: первоначальное NAS-сообщение может содержать, например, запрос уровня CM на услугу, запрос на изменение местоположения, вызов сети и.т.д.

Сигнальное соединение NAS между UE и CN может теперь использоваться для передачи сообщений NAS.

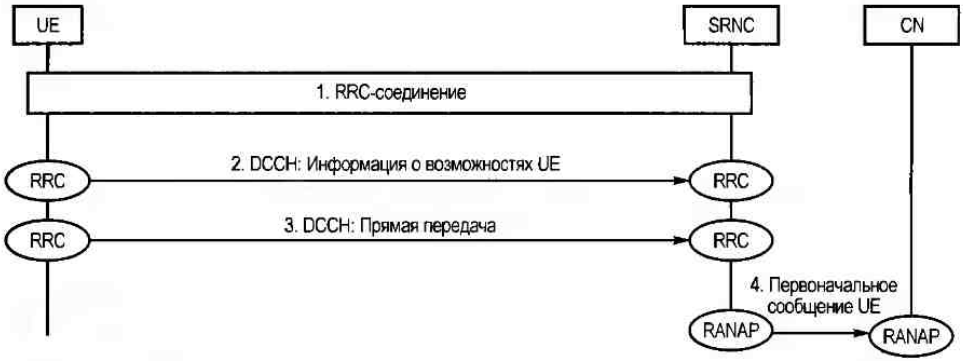


Рис. 3.24. Пример процедуры установления сигнального соединения NAS

3.6.8. Установление соединения RRC с использованием специализированного транспортного канала

Следующий пример показывают установление соединения RRC на специализированном транспортном канале (DCH) либо на общем транспортном канале. Сначала устанавливается канал DCH. Далее SRNC использует канал DCH для создания RRC-соединения, распределения врéменных номеров радиосети (RNTI) и радиоресурсов RRC-соединения. Порядок выполнения действий представлен на рис. 3.25.

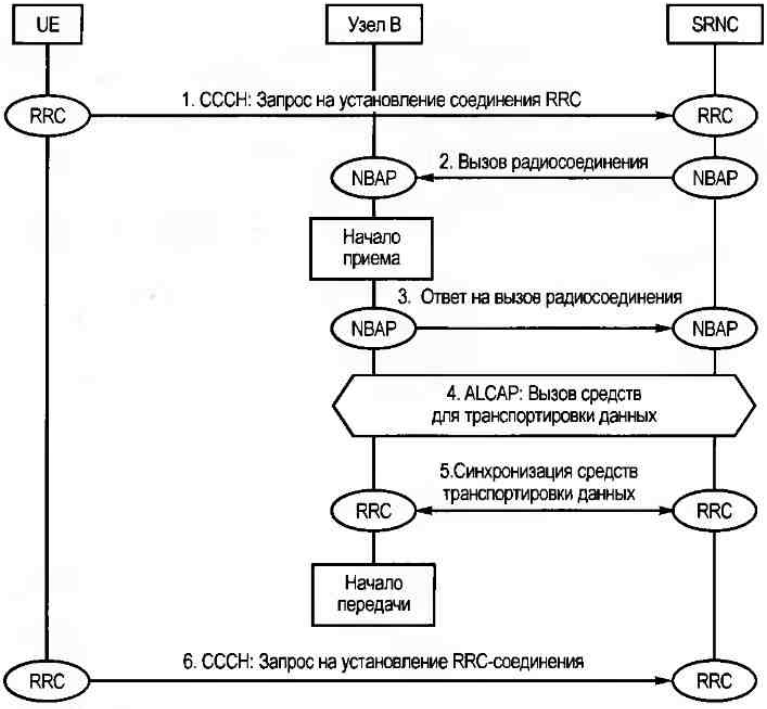


Рис. 3.25. Пример процедуры установления специализированного транспортного канала (DCH) и использование его для соединения RRC

1. UE инициирует установление соединения передачей сообщения **запрос на установления соединения RRC** по общему каналу управления (CCCH — Common Control Channel).

Параметры: идентификатор UE, причина соединения.

2. После выделения и занятия ресурсов для установления транспортного канала DCH, к узлу B (BTS) посылается сообщение **вызов радиосоединения.**

Параметры: идентификатор соты, тип формата транспортировки, код скремблирования (для FDD), информация о временны́х слотах (для TDD), пользовательские коды (для TDD), информация об управлении мощностью.

3. Узел B занимает ресурсы, начинает физический прием и посылает сообщение **ответ на вызов радиосоединения.**

Параметры: тип оконечного терминала сигнальной линии, информация адресации на транспортном уровне (адрес AAL2, адреса связи AAL2) для транспортных каналов Iub.

4. SRNC инициирует среду переноса на транспортном уровне. Для этого он использует прикладной протокол управления звеном доступа ALCAP (Ac-

cess Link Control Application Protocol). Соответствующее сообщение содержит информацию о связи между транспортной средой доставки AAL2 и каналом DCH. Запрос для установления транспортных каналов Iub подтверждается узлом B.

5. Узел B и SRNC устанавливают синхронизм для транспортных каналов Iub. Затем узел B начинает передачу (только для FDD).

6. По каналу CCCH посылается сообщение **запрос на установление RRC-соединения** от SRNC к UE.

Параметры: идентификатор UE, вре́менный сетевой номер радиосети (RNTI), тип формата транспортировки, код скремблирования (для FDD), информация о временных слотах (для TDD), пользовательские коды (для TDD), информация об управлении мощностью.

3.7. Процедуры мягкого хэндовера

В рамках UMTS применяется хэндовер, который во многом повторяет концепцию, принятую для других систем CDMA. Имеется три типа хэндовера — жесткий, мягкий и более мягкий. Все три типа применяются в зависимости от обстоятельств.

Жесткий хэндовер используется при передаче соединения системе предыдущего поколения. В данном случае соединение, работающее на одной частоте, должно быть передано каналу другой частоты. При таких обстоятельствах одновременный прием информации несколькими станциями невозможен, и при передаче соединения оно должно быть прервано.

Мягкий хэндовер не может быть реализован системами предыдущих поколений мобильной связи. В системах, использующих технологию CDMA, возможна работа смежных сот на одной и той же частоте. В результате возможно, что UE получит сигналы из RNC двух смежных сот и они также смогут получить сигналы от одного и того же UE. Такое явление называется мягким хэндовером.

Более мягкий хэндовер заключается в том, что каналы от двух RNC воспринимаются как один объединенный, и один из каналов исключается после его значительного ослабления. Передача вызова с помощью мягкого хэндовера обычно происходит при переходе управления в разных секторах одной соты.

Решение о передаче вызова в общем случае принимается контроллером радиосети RNC. Он непрерывно следит за уровнем сигналов, поступающих на UE и узел B, и когда их уровень падает ниже заданного уровня (а имеются радиоканалы с лучшими характеристиками), запускается процесс хэндовера.

Частью процесса слежения (мониторинга) является измерение кода мощности принятого сигнала (RSCP — Received Signal Code Power) и индикатора уровня принимаемого сигнала (received signal strength indicator). Эта информация возвращается узлу B по управляющим каналам, а следовательно RNC.

Если требуется жесткий хэндовер, то RNC дает команды UE для измерения качества каналов в других сотах.

Всякий хэндовер включает два подпроцесса:

– установление нового канала (дополнение радиоканала);

– удаление старого канала (удаление канала).

В случае мягкого хэндовера установление нового канала осуществляется до удаления старого, что иллюстрируется приводимыми ниже алгоритмами дополнения и удаления радиоканала.

Рассмотрим эти подпроцессы.

3.7.1. Дополнение радиоканала

Этот пример (рис. 3.26) описывает установление соединения по радиоканалу от дрейфующего RNC (DRNC), который отличается от текущего обслуживающего RNC (SRNC), через узел B (BTS). Этот канал будет существовать параллельно с существующим, и в этом смысле он является разнесенным каналом.

Рассмотрим этапы процесса дополнения радиоканала (рис. 3.26).

1. SRNC устанавливает радиосоединение через новую соту, управляемую другим радиоконтроллером (DRNC), запросом ресурсов. Если это первое соединение через DRNC для данного UE, то Iur устанавливает сигнальное соединение между RNC. Это сигнальное соединение будет использоваться для сигнальных сообщений всех прикладных подсистем RNSAP, относящихся к данному UE. Для этого прикладная система RNSAP посылает сигнальное сообщение **дополнить радиосоединение.**

Параметры: идентификатор соты, тип формата транспортировки, код скремблирования (для FDD), информация о временны́х слотах (для TDD), пользовательские коды (для TDD), код каналообразования, информация об управлении мощностью.

2. Если требуемые ресурсы доступны, DRNC посылает с помощью прикладной подсистемы базовой станции (NBAP) к узлу B, управляемому этим DRNC, сообщение **радиосоединение установлено**.

Параметры: идентификатор соты, тип формата транспортировки, код скремблирования (для FDD), информация о временных слотах (для TDD), пользовательские коды (для TDD), код каналообразования.

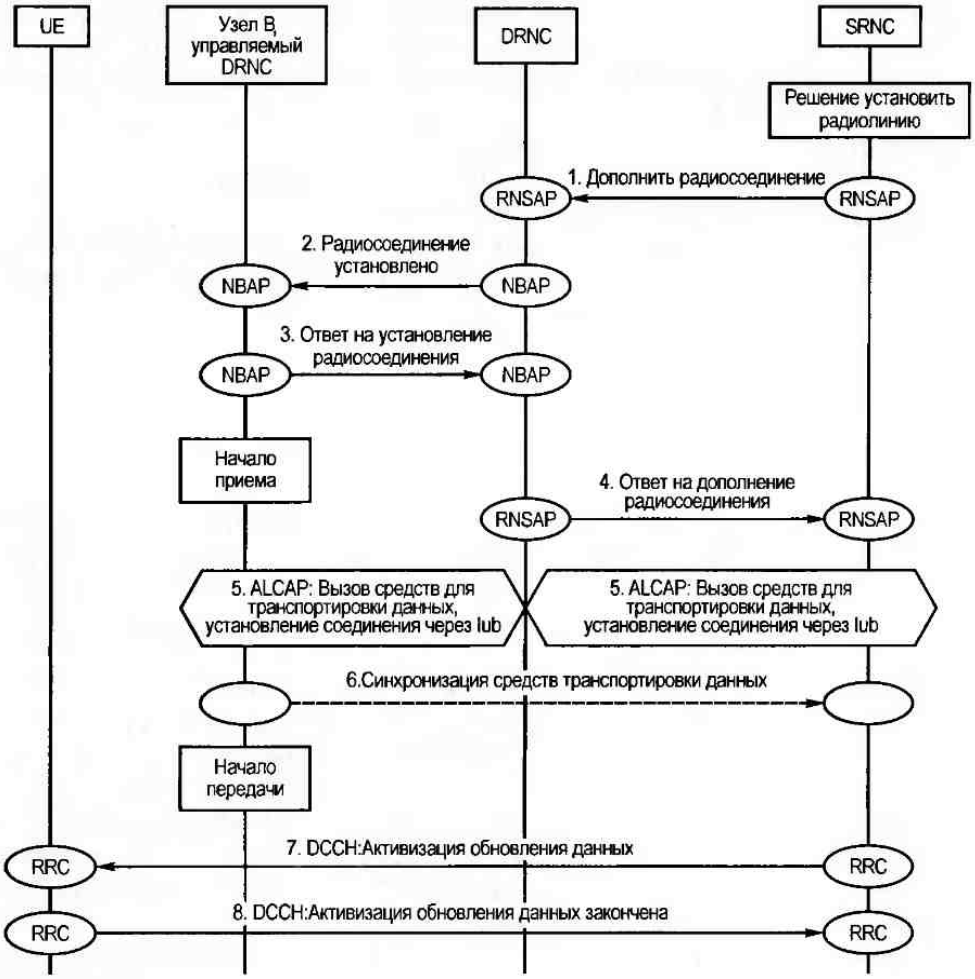


Рис. 3.26. Дополнение радиоканала (дополнение ветви)

3. Узел В выбирает и закрепляет за данным соединением выбранные ресурсы, сообщая, в случае успешного результата, передачей сообщения **ответ на установление радиосоединения** с помощью подсистемы NBAP.

Параметры: тип оконечного терминала, адресная информация транспортного уровня (адрес AAL2, идентификаторы связи AAL2 для транспортных каналов).

Затем узел В начинает прием пользовательской информации.

4. DRNC с помощью подсистемы RNSAP посылает SRNC сообщение **ответ на дополнение радиосоединения.**

Параметры: код каналообразования, адресная информация транспортного уровня (адрес AAL2, идентификаторы связи AAL2 для транспортных каналов), информация о соседних сотах.

5. SRNC инициирует установление транспортных каналов передачи данных, использующих прикладные протоколы управления доступом (ALCAP) для установления соединения. Они используют протоколы уровня AAL2, интерфейсы Iur/Iub и DCCH. Это повторяется для каждого интерфейса Iur/Iub, который используется.

6. Узел В и SRNC проводят **синхронизацию средств транспортировки данных** для всех установленных радиоканалов. Затем узел В начинает передачу данных по этим каналам.

7. SRNC посылает по каналу DCCH RRC-сообщение **активизация обновления данных** (для дополненного соединения) к UE (см. табл. 3.5).

Параметры: тип сообщения **обновление данных**, идентификатор соты, параметры скремблирования, код каналообразования, информация, которая предназначена для управления мощностью (номера N-каналов).

8. UE подтверждает RRC-сообщением **активизация обновления данных закончена.**

3.7.2. Удаление радиоканала

Этот пример (рис. 3.27) иллюстрирует удаление соединения по радиоканалу, когда узел В управляется по радиоканалу от дрейфующего RNC (DRNC), который отличается от обслуживающего RNC (SRNC).

Рассмотрим этапы удаления радиоканала (рис. 3.27).

1. SRNC решает удалить радиосоединение, которое проходило через старую соту, управляемую другим RNC (предыдущим). SRNC (новый контроллер) посылает к UE по каналу DCCH RRC-сообщение **активизация обновления данных** (удалить радиолинию).

Параметры: тип сообщения — удалить, идентификатор соты.

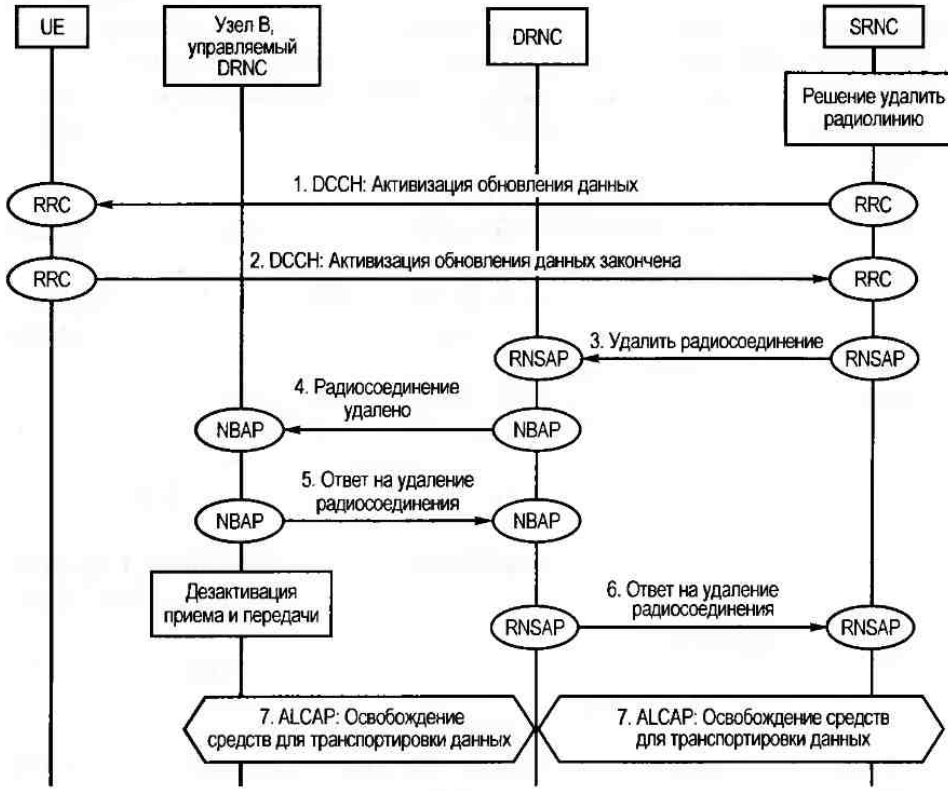


Рис. 3.27. Удаление радиоканала (удаление ветви)

2. UE останавливает прием по старой ветви и подтверждает это с помощью RRC-сообщения **активизация обновления данных закончена**.

3. SRNC (новый контроллер) запрашивает DRNC (старый контроллер) освободить размещенные радиоресурсы. Это делается с помощью сообщения **удалить радиосоединение.**

Параметры: идентификатор соты, информация о транспортном соединении.

4. DRNC посылает узлу B NBAP-сообщение **радиосоединение удалено**.

Параметры: идентификатор соты, информация о транспортном соединении.

5. Узел B освобождает занятые радиоресурсы и в случае успешного результата посылает NBAP-сообщение **ответ на удаление радиосоединения.**

6. DRNC посылает к SRNC (новый контроллер) RNSAP-сообщение **ответ на удаление радиосоединения**.

7. SRNC инициализирует разъединение транспортных каналов передачи данных, используя протокол ALCAP.

3.7.3. Одновременное дополнение и удаление соединений

Этот пример показывает одновременное дополнение и удаление радиосоединения, проходящего через узел B, который управляет по радиоканалу контроллером RNC (DRNC), отличающимся от обслуживающего (SRNC). Напомним, что после обновления данных в процедуре удаления контроллеры меняют свои роли — дрейфующий RNC становится обслуживающим и наоборот. Процедура представлена на рис. 3.28.

Порядок действий следующий:

1–6. Повторяет пп. 1–6 процедуры дополнения радиосоединения.

7. SRNC посылает по DCCH RRC-сообщение **активизация обновления данных**. Эта команда имеет две модификации **дополнить** и **разъединить**. В данном случае она вызывает процедуру удаления радиосоединения.

Параметры: тип соединения — обновление данных, идентификатор соты, параметры скремблирования, код каналообразования, информация управления мощностью (N-каналы).

8. UE дезактивирует прием данных через старое соединение и активирует прием данных через новую ветвь, посылая сообщение **активизация обновления данных закончена**.

9–11. Соответствуют описанию п.п. 4, 5, 7 процедуры удаления радиосоединения (см. рис. 3.27).

3.8. Процедуры жесткого хэндовера

3.8.1. Жесткий хэндовер между контроллерами одной основной сети

Рассматривается случай передачи управления от SRNC к DRNC, принадлежащих одной основной сети (CN) представленный на рис. 3.29. Сущность процесса следует из этого рисунка. Процесс содержит операции дополнения и удаления радиоканалов, которые рассмотрены выше.

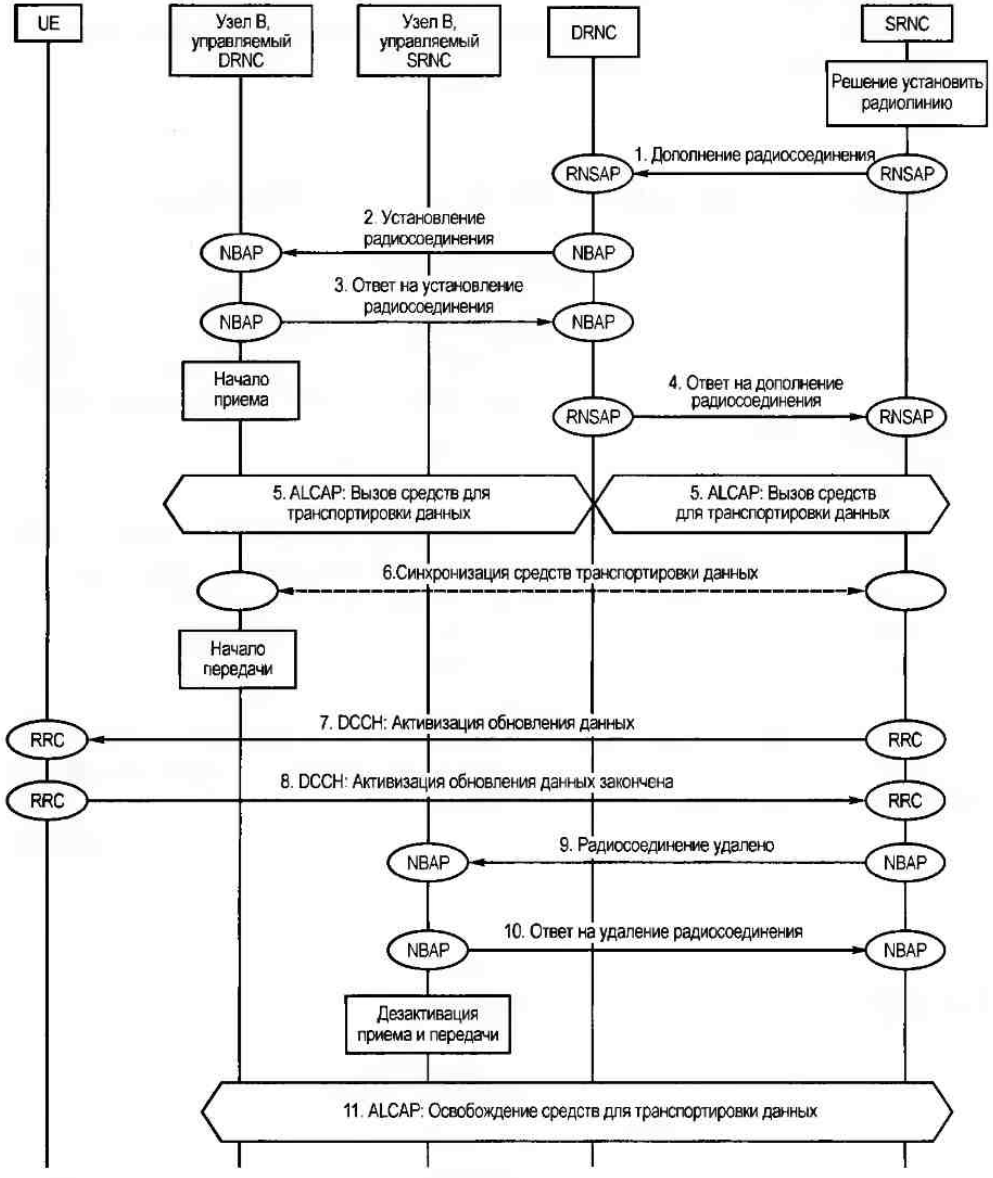


Рис. 3.28. Одновременное дополнение и удаление радиосоединения

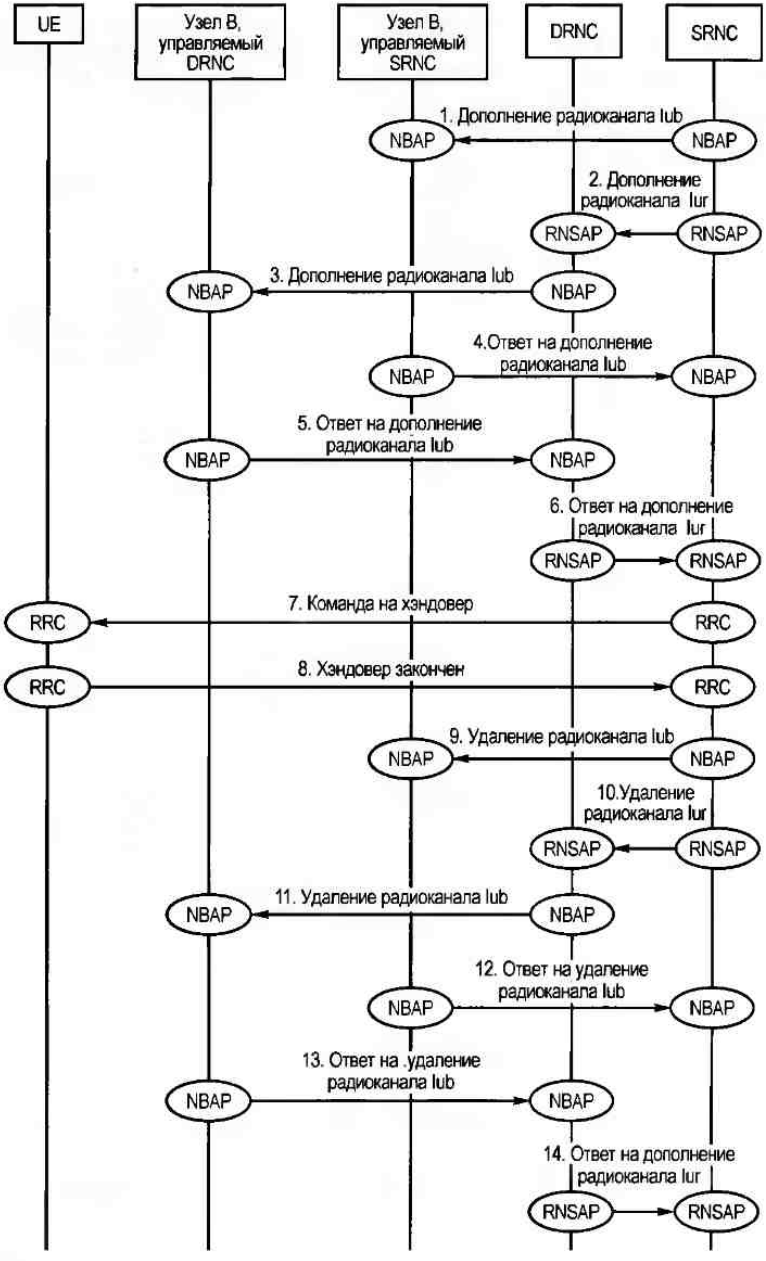


Рис. 3.29. Жесткий хэндовер между контроллерами одной основной сети

3.8.2. Хэндовер с использованием интерфейса Iur

Контроллеры RNC сети UMTS могут иметь сигнальные каналы, непосредственно связывающие RNC и UMTS друг с другом. Они могут быть использованы для хэндовера, что иллюстрируется диаграммой на рис. 3.30.

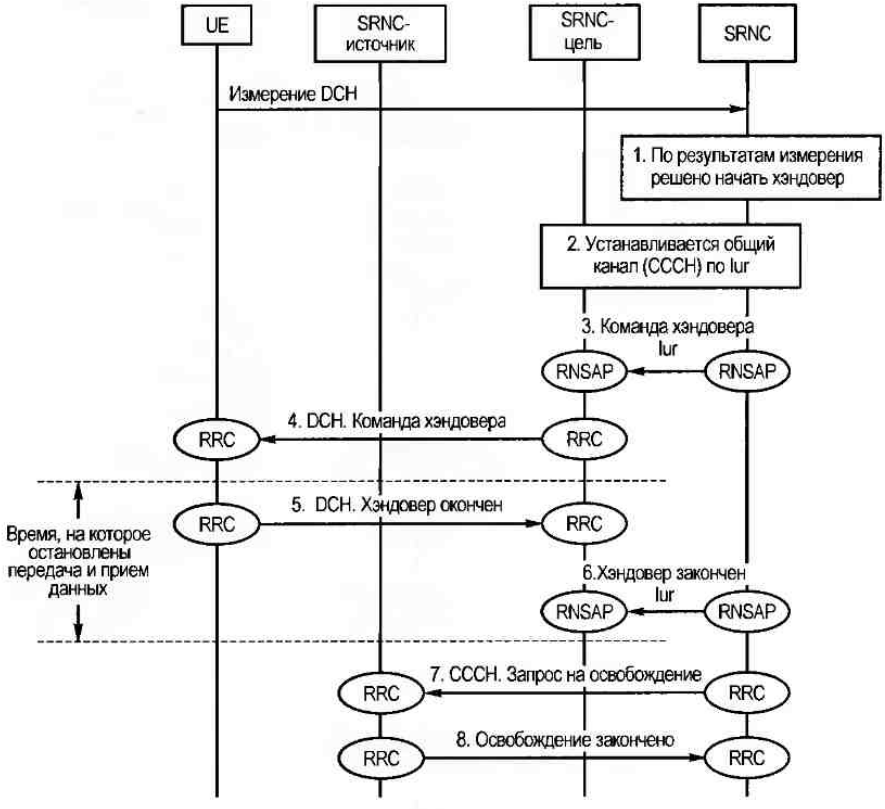


Рис. 3.30. Хэндовер с использованием интерфейса Iur

При этом виде хэндовера выполняется следующая последовательность действий:

1. Получив результаты измерения, SRNC принимает решение о начале хэндовера.

2. С использованием интерфейса Iur устанавливается общий канал управления (CCCH).

3. По этому каналу передается RNSAP-сообщение **команда хэндовера.**

4. Далее она транслируется с помощью RRC.

5–8. Выполняется обычный набор команд завершения хэндовера.

G

3.8.3. Хэндовер с использованием специализированных транспортных каналов интерфейса Iur. Организация каналов DCH

По интерфейсу между RNC могут быть установлены специализированные транспортные каналы, в частности, DCH. Хэндовер в данном случае включает следующие этапы (рис. 3.31):

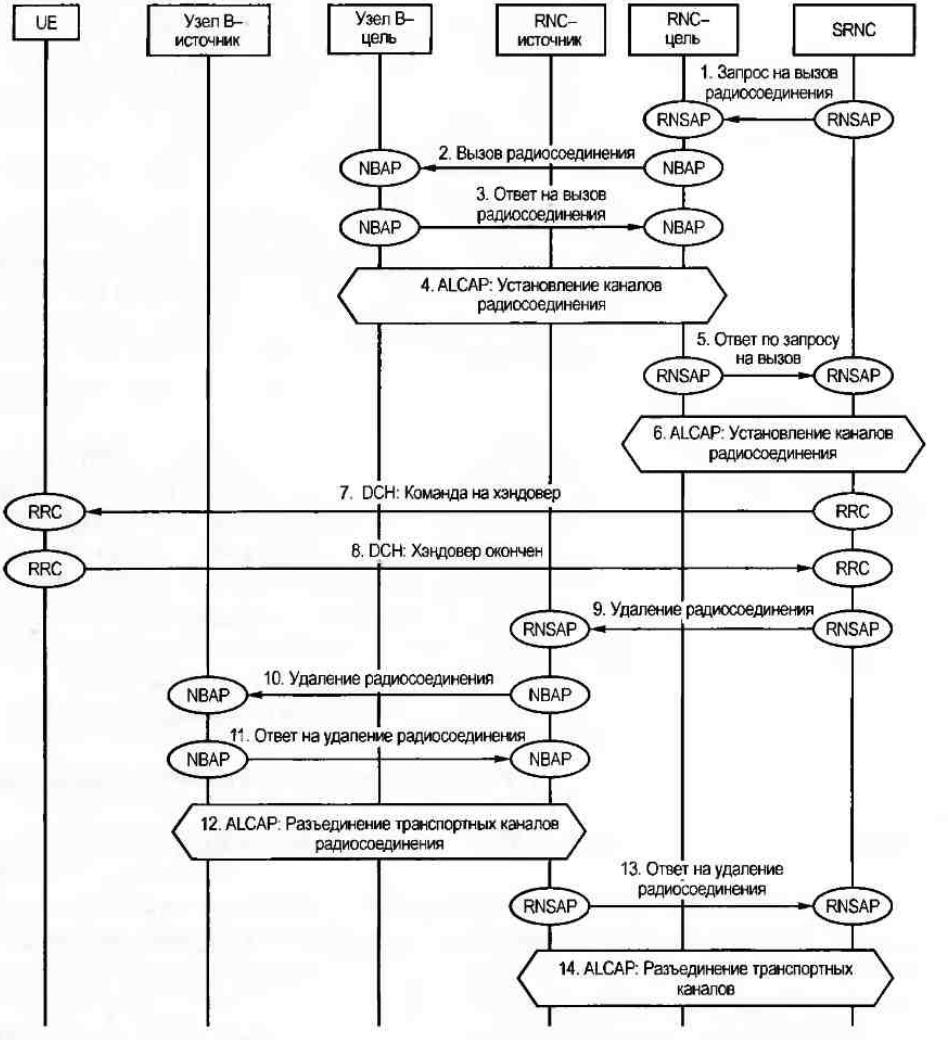


Рис. 3.31. Хэндовер с использованием интерфейса Iur (организация каналов DCH)

1. SRNC посылает сообщение **запрос на вызов радиосоединения** к RNC-цели.

Параметры: идентификатор RNC-цели, временный номер в радиосети (RNTI), идентификатор соты, набор форматов транспортного уровня.

2. Целевой RNC принимает RNTI, выбирает радиоресурсы для подключения (если это возможно) и посылает узлу B на уровне прикладной подсистемы базовой станции (NBAP) сообщение **вызов радиосоединения**.

Параметры: идентификатор соты, транспортный формат, номинал несущей частоты, код скремблирования (только для режима FDD), номер временного положения, код пользовательского канала (только для режима TDD), код каналообразования (только для FDD), информация для управления мощностью.

3. Узел B выбирает ресурсы и начинает физический прием, после чего отвечает NBAP-сообщением **ответ на вызов радиосоединения**.

Параметры: тип оконечного сигнального оборудования, адресная информация для транспортных средств интерфейса Iub.

4. RNC-источник, используя протокол ALCAP, инициирует **установление каналов** передачи данных транспортного уровня. Запрос на инициирование содержит идентификаторы связи с уровнем AAL2 и «привязывает» Iub к DCH. Этот запрос на установление каналов передачи данных транспортного уровня Iur подтверждается узлом B-цель.

5. Когда целевой RNC заканчивает фазу подготовки, он посылает SRNC сообщение **ответ по запросу на вызов**.

6. SRNC, используя протокол ALCAP, инициирует **установление соединения** транспортных каналов интерфейса Iur. Этот процесс содержит идентификаторы связи с уровнем AAL2 для обеспечения связи транспортных каналов интерфейса Iur с каналом DCH. Запрос на установление транспортных каналов интерфейса Iur — это подтверждение целевым RNC.

7. SRNC посылает RRC-сообщение **команда на хэндовер** к UE.

8. Когда RRC-соединение с целевым RNC установлено и выделены необходимые ресурсы, UE посылает сообщение **хэндовер окончен** к SRNC.

9. SRNC посылает RNSAP-сообщение **удаление радиосоединения** к RNC-источнику.

10. RNC-источник посылает NBAP-сообщение **удаление радиосоединения** к узлу B-источнику.

Параметры: идентификатор соты, адресная информация транспортного уровня.

11. Узел B-источник освобождает радиоресурсы. Если они освобождены, он посылает к RNC-источнику сообщение **ответ на удаление радиосоединения**.

12. RNC-источник, используя протокол ALCAP, инициирует разъединение транспортных каналов передачи данных.

13. Когда RNC-источник завершает освобождение, он посылает RNSAP сообщение **ответ на удаление радиосоединения**.

14. SRNC, используя протокол ALCAP, инициирует разъединение транспортных каналов передачи данных интерфейса Iur. Этот процесс использует идентификаторы связи с уровнем AAL2 для связи транспортных каналов интерфейса Iur с каналом DCH. Запрос на освобождение транспортных каналов интерфейса Iur — это подтверждение целевым RNC.

3.8.4. Хэндовер с коммутацией на основной сети

В рассматриваемом случае UE перемещается между зонами, принадлежащими разным MSC. Обслуживающий RNC (SRNC) принимает решение осуществить жесткий хэндовер через основную сеть (CN). SRNC также определяет, какой RNC может быть целью перемещения. Процедура хэндовера иллюстрируется рис. 3.32. Рассмотрим ее более детально.

1–2. RNC-источник посылает сообщение **запрос на изменение местоположения** обоим узлам основной сети.

Параметры: идентификатор целевой сети, указатель направления информации к основной сети и указатель на то, что эта информация должна быть прозрачно передана целевому RNC.

3–4. Когда станции основной сети (CN) заканчивают подготовку к изменению местоположения, они передают целевому RNC сообщение **запрос на изменение местоположения.**

Параметры: идентификаторы каналов, которые могут быть затребованы для перемаршрутизации соединения, запрос на изменение положения, передаваемый узлом B-цель, желательный тип маршрутизации («точка» или «много точек» или жесткое заранее определенное соединение).

5–6–7. Целевой RNC и CN устанавливают интерфейс Iu транспортных каналов передачи для каждого узла основной сети. Когда RNC заканчивает подготовительную фазу, он посылает узлам основной сети сообщение **подтверждение запроса на изменение местоположения.**

Параметр: указатель прозрачной передачи информации об изменении местоположения к RNC-источнику.

8–9. Когда основная часть готова к изменению RNC, ее узел посылает **команду на изменение местоположения.**

Параметры: информация для целевого RNC.

10. RNC-источник посылает UE RRC-сообщение **команда хэндовера** (жесткий хэндовер).

11–12. Когда целевой RNC обнаруживает UE, он посылает к узлу основной сети сообщение **обнаружено изменение местоположения.** Целевой RNC, когда обнаруживает UE, переключает новое соединение к новому Iu. После подключения пользовательской линии от узла B осуществляется установление соединения с новыми субъектами оборудования управления радиодоступом/радиосоединением (MAC/RLC) и к оборудованию группового радиодоступа узлов B.

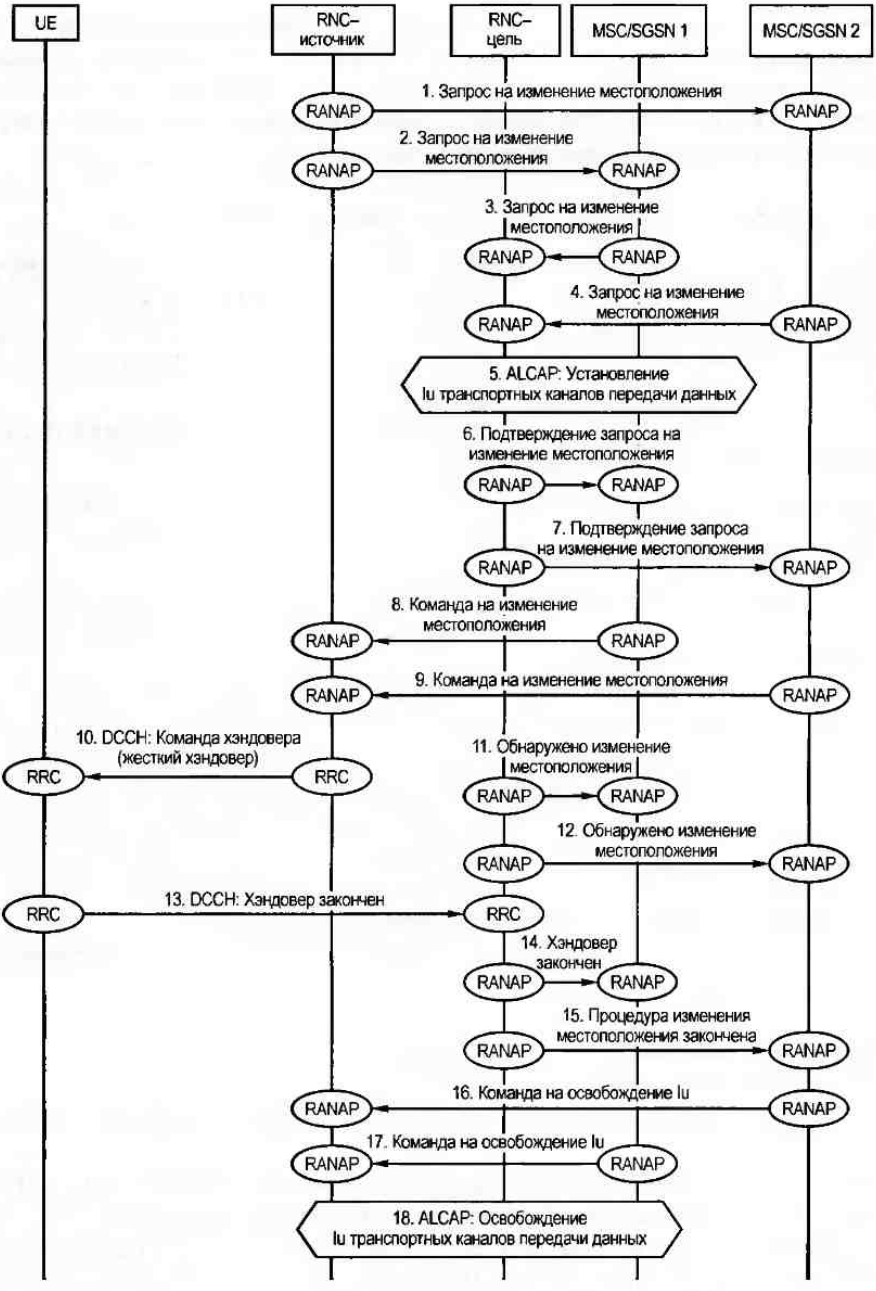


Рис. 3.32. Хэндовер с коммутацией на CN (UE перемещается между зонами, принадлежащими разным MSC)

13. Когда установлено RRC-соединение с целевым RNC и найдены необходимые радиоресурсы, UE посылает RRC-сообщение **хэндовер закончен** целевому RNC.

14–15. После успешного переключения и выбора ресурсов на целевом RNC последний посылает MSC/SGSN 1 сообщение **хэндовер закончен**.

На любой фазе, прежде, чем посылается сообщение **хэндовер закончен,** старое коммутационное соединение между основной сетью и UE существует и работает, процедура хэндовера может быть приостановлена, и соединение легко восстановлено в прежней конфигурации. Если внезапно случается непредвиденная ситуация, то сообщение **ошибка при изменении местоположения** может быть передано вместо любого из сообщений, которые приведены в пп. 3–10, 13–14.

16–17. Узел основной сети инициирует запрос на разъединение Iu-соединения к RNC-источнику, посылая RANAP-сообщение **команда на освобождение Iu.**

18. После получения запроса на разъединение от узлов основной сети RNC-источник выполняет все необходимые процедуры для освобождения всех ресурсов UTRAN, которые были связаны с рассматриваемым соединением RRC.

3.9. Изменение местоположения

3.9.1. Изменение местоположения соты с изменением обслуживающего RNC

Этот пример (рис. 3.33) показывает изменение местоположения RNC с переключением на узле основной сети при изменении обслуживающего RNC.

На рисунке представлен алгоритм работы при перемещении UE к новой RNC-цели. Рассматривается момент, когда уже выполнена часть алгоритма, в которой обслуживающий SRNC обнаруживает, что величина мощности сигнала от UE меньше заданного порога, и с помощью CN определена сота (RNC-цель), в которую должно переместиться UE.

Опишем этапы рассматриваемого процесса:

1. RNC-цель получает и декодирует сообщение по общему управляющему каналу — CCCH. В этом сообщении содержится идентификатор RNC-цели и временный номер UE. После этого RNC-цель назначает новый сотовый временный номер радиосети C-RNTI (Cell Radio Network Temporary Identifier). Этот номер позволяет идентфицировать станцию на время ее перехода к другому контроллеру.

2. Присвоенный номер передается с помощью RNSAP обслуживающему RNC (SRNC). SRNC принимает решение для передачи UE RNC-цели.

3. Процедура изменения местоположения соты аналогична уже рассмотренной на рис. 3.32. В результате этой процедуры назначается обслуживающий временный номер радиосети (S-RNTI — Serving Radio Network Temporary Identifier) на все время пребывания в новом местоположении.

4. RNC-цели присваивается значение обслуживающего временного номера RNC (SRNC), RRC посылает CCCH-сообщение **подтверждение обновления соты,** которое включает в себя старый S-RNTI, новый S-RNTI, идентификаторы старого и нового SRNC.

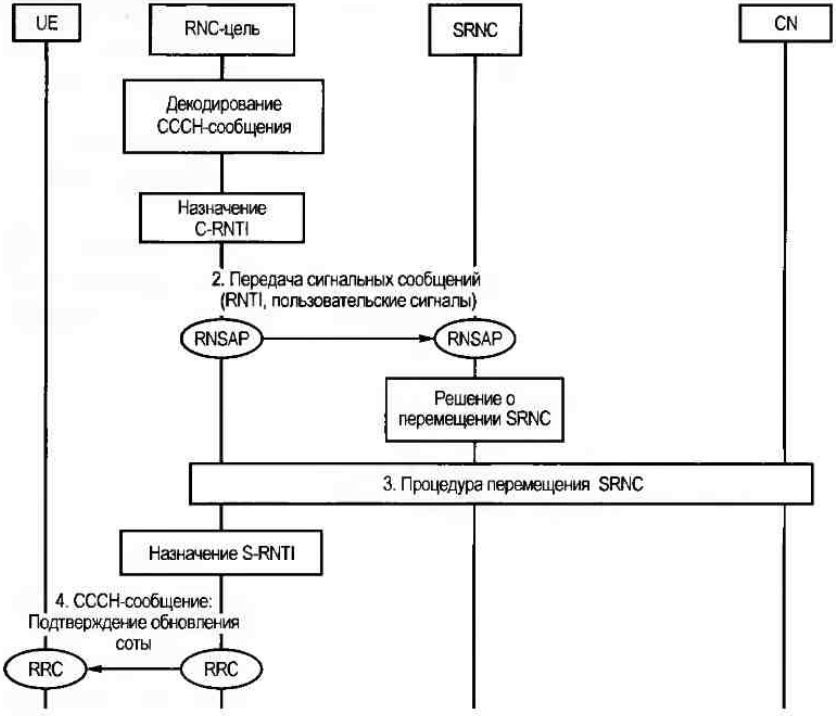


Рис. 3.33. Изменение местоположения соты с изменением обслуживающего RNC

3.9.2. Хэндовер между базовой станцией системы GSM и сетью наземного радиодоступа UMTS (UTRAN)

Этот вид хэндовера иллюстрирует рис. 3.34. Основная особенность рассматриваемого случая состоит в том, что выполняется процедура жесткого хэндовера. Устройства сети UTRAN обеспечивают физическую совместимость с системой GSM. Последовательность выполнения процесса следующая.

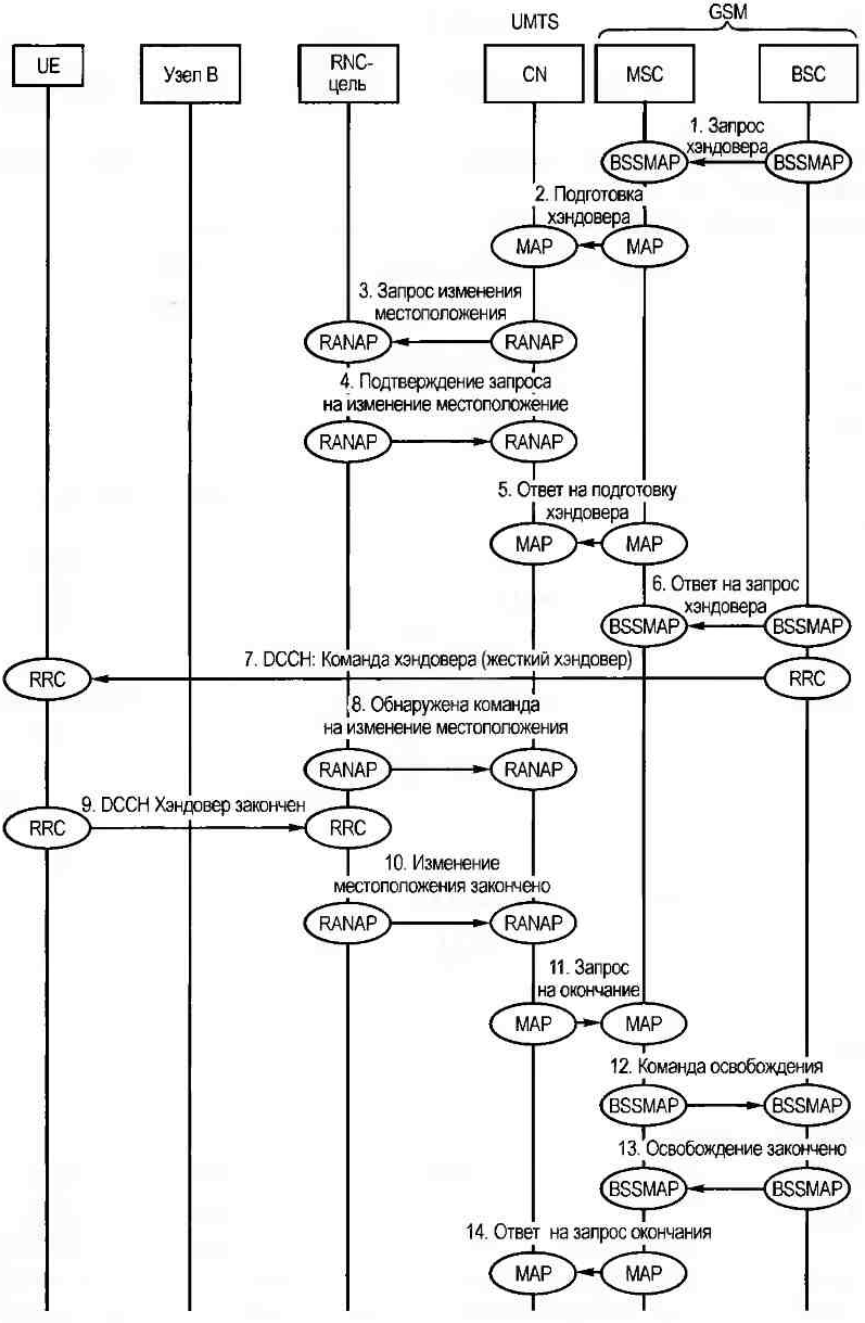


Рис. 3.34. Хэндовер GSM/BSS ⇒ UTRAN

1. С помощью BSSMAP BSC передает MSC GSM-сообщение **запрос хэндовера**.

2. MSC передает MAP-сообщение **подготовка хэндовера** основоной сети UMTS (CN UMTS).

3. CN передает RANAP-сообщение **запрос изменения местоположения** целевому RNC.

4. Ответ **подтверждение запроса на изменение местоположения** возвращается целевым RNC к CN с помощью RANAP-сообщения.

5. MSC передает основной сети UMTS (CN UMTS) MAP-сообщение **ответ на подготовку хэндовера**.

6–7. Эти шаги являются нормальными процедурами GSM.

8. Когда целевой RNC обнаруживает UE, узлу CN передается сообщение **обнаружена команда на изменение местоположения**.

9. Когда RRC-соединение с целевым RNC установлено и необходимые радиоресурсы распределены, UE передает сообщение **хэндовер закончен** целевому RNC.

10. После завершения процесса окончания хэндовера целевой RNC передает RANAP-сообщение **изменение местоположения закончено** к CN.

11. CN передает MAP-сообщение **запрос на окончание** к MSC.

12. MSC передает сообщение **команда освобождения** BSC.

13. BSC отвечает устройствам сети GSM сообщением **освобождение закончено**.

14. MSC передает MAP-сообщение **ответ на запрос окончания** основной сети UMTS (CN UMTS) для завершения процедуры.

3.10. Физический уровень UMTS

Физический уровень UMTS/WCDMA полностью отличается от решений, применяемых в GSM. Он использует технологию расширения спектра передачи в виде, применяемом в CDMA, а не технологию TDMA, которая применяется в GSM. Кроме того, UMTS работает в другом диапазоне частот.

Частоты

В настоящее время имеется шесть полос частот, определенных для использования в UMTS/WCDMA, хотя другие не запрещены. Однако все диапазоны, применяемые в настоящее время, выбираются около частоты 2000 МГц. Международная конференция администраций по радиочастотам (WARC — World Administrative Radio Conference) еще в 1992 году администрациям, предполагающим внедрить IMT-2000, рекомендовала не занимать диапазоны

1885–2005 и 2110–2200 МГц. Целью такой рекомендации было облегчение всемирного роуминга для пользователей UMTS.

В пределах этих полос были зарезервированы участки для различных приложений:

- 1920–1980 и 2110–2170 МГц — для дуплексного режима разделения по частоте (FDD) и WCDMA, а также создания парных каналов связи от узла B к UE (downlink) и от UE к узлу B (uplink) с шириной каждого канала — 5 МГц и расстоянием между каналами — 200 кГц. Операторам необходимы 3–4 диапазона (2×15 МГц или 2×20 МГц) для построения быстродействующей сети большой емкости;
- 2010–2025 МГц — для дуплексного режима разделения времени (TDD, TD/CDMA). Непарные каналы с шириной каждого канала — 5 МГц и расстоянием между каналами — 200 кГц. Передача и прием не отделены по частоте;
- 1980–2010 МГц — для спутникового канала связи от абонента к станции и от UE к узлу B (uplink), а также 2170–2200 МГц — от станции к абоненту и от узла B к UE (downlink).

Как упоминалось выше, в России для систем 3G распределяются диапазоны 1935–1950, 2010–2015, 2225–2240 МГц.

UMTS использует транспортный механизм WCDMA для транспортировки информации. Каждый канал занимает диапазон 5 МГц. Для передачи информации от узла B к UE и в обратном направлении применяются различные способы модуляции. Для передачи от узла B к UE применяется квадратурно-фазовая манипуляция (QPSK). Для передачи в обратном направлении используются два отдельных канала для того, чтобы прямые и обратные линии передачи речи не влияли друг на друга. Эта проблема была обнаружена в GSM. Для образования двойного канала используются специальные модуляторы-демодуляторы, работающие на основе DQPSK (дифференциальной QPSK). При квадратурной модуляции для передачи по каждому из каналов используются различные фазы модуляции (I и Q) или квадратурный выход модулятора.

Расширение полосы частот (spreding)

Передаваемые данные кодируются расширяющим кодом, конкретным для каждого пользователя. После такого кодирования информацию может расшифровать только желательный получатель. Все другие появляющиеся сигналы отделяются как шум. Это позволяет нескольким пользователям одновременно использовать один радиочастотный канал.

Коды исходного сигнала CDMA умножаются на расширяющую кодовую последовательность (spreading code), что увеличивает ширину полосы, занимаемую сигналом. Для WCDMA каждый физический канал расширяется

уникальной последовательностью. Полный коэффициент расширения (отношение ширины полосы частот в радиоканале к скорости передаваемой информации) изменяется, что позволяет в наибольшей степени использовать полосу пропускания. В той мере, как будет изменяться требуемая скорость от приложения к приложению, соответственно будет изменяться коэффициент расширения.

При передаче информации от узла B к UE скорость передачи равна 3,84 Мчип/с. При использовании QPSK возможна передача двух бит на каждый символ (чип). Таким образом скорость в канале будет равна 7,68 Мбит/с. Если фактическая скорость передачи данных равна 15 кбит/с, то коэффициент расширения составляет 512. Если скорость передачи данных будет выше, чем скорость расширяющей последовательности, то система должна регулировать скорость передачи данных. Следует помнить, что изменение скорости чипов полностью изменяет эффективность работы системы. Высокий коэффициент расширения улучшает характеристики и дает возможность применять простые методы разделения каналов, а, следовательно, позволяет уменьшить мощность передачи при том же самом уровне ошибок.

Коды, которые требуются для расширения сигнала, должны быть ортогональны, чтобы множество пользователей и каналов работали без взаимных помех и влияний. И они должны работать синхронно. Поскольку невозможно при переменном коэффициенте расширения сохранить точный синхронизм, то используется второй набор кодов скремблирования, которые гарантируют, что взаимное влияние не отразится на работе системы. Код скремблирования — это код, применяющий для шифрования псевдослучайные числа. Таким образом, имеются две ступени расширения: первая ступень — коды на основе ортогональных кодов с переменным коэффициентом расширения (OVSF — Orthogonal Variable Spreading Factor codes), и вторая — на основе псевдослучайных чисел. Эти коды используются для обеспечения двух отличающихся уровней отделения сигнала.

Ортогональные коды с переменным коэффициентом расширения — это ансамбль кодов с переменной длиной, который формируется на основе кодового дерева, каждый уровень которого удваивает число возможных комбинаций и длину кода.

Расширяющие кодовые последовательности с переменным коэффициентом расширения (OVSF) используются для идентификации пользовательских услуг в соединительных и пользовательских каналах в направлении от узла B к UE, тогда как псевдокоды (PN) используются, чтобы идентифицировать индивидуальный узел B или UE.

На канале связи от UE к узлу B существует выбор миллионов различных псевдокодов, позволяющих выработать индивидуальный код для того, чтобы

идентифицировать UE. В результате более чем достаточно кодов, чтобы разместить большое число различных UE, которые, вероятно, могут обратиться к сети для обслуживания. Для каналов с направлением от узла B к UE используется короткий код. Общее количество различных кодов, которые могут быть использованы, — 512. Каждому узлу B назначается один из них.

Кодирование речи

При кодировании речи в UMTS используются различные скорости. В силу этого могут быть использованы различные вокодеры. Когда система может предоставлять возможность использования различных скоростей, она называется адаптивной многоскоростной системой (AMRS — Adaptive Multi-Rate System). Она может применяться там, где скорость выбирается в соответствии с емкостью и требованиями системы. Эта схема аналогична той, что используется в GSM.

Прерывистая передача

Одной из наиболее важных характеристик мобильных телефонов является время разрядки батареи. Этой характеристикой интересуются люди, покупающие телефон, и она в значительной степени определяет его ценность. Принимая во внимание это обстоятельство, в стандарт UMTS/CDMA был введен режим прерывистой передачи (DTX — Discontinuous Transmission) или «спящий режим» (режим ожидания). Этот режим позволяет отключать несколько энергоемких элементов UE до тех пор, пока не будет получен сигнал широковещательного вызова. Для реализации такого механизма в UMTS/CDMA цепи, работающие с широковещательным каналом, разделены на группы и подканалы. Реальный номер используемого широковещательного подканала (используемой части оборудования) назначается сетью. Таким образом UE только часть времени должно «слушать» сеть. Чтобы обеспечить такой режим, канал индикации вызова (PICH — Paging Indication Channel) разбит на кадры длительностью 10 мс, каждый из которых содержит 300 битов — 288 для широковещательной рассылки данных и 12 незанятых битов. В начале каждого кадра канала широковещательного вызова находится индикатор оповещения (PI — Paging Indicator), который идентифицирует обслуживаемую группу оповещения. Согласно номеру PI определяется широковещательный канал вызова, и приемник включается только тогда, когда он должен контролировать широковещательный канал вызова.

Синхронизация

Синхронизация, которая требуется для системы UMTS, обеспечивается первичным каналом синхронизации (PSCH) и вторичным каналом синхрони-

зации (SSCH). Эти каналы работают способом, отличающимся от способов на нормальных каналах, и в результате они не расширяются, используя псевдокоды (PN) и OVSF-коды. Вместо этого для расширения они используют коды синхронизации. Существует два типа применяемых кодов. Первый называется первичным кодом и используется в PSCH, а второй — вторичным кодом и используется в SSCH. Первичный код один и тот же для всех сот и состоит из последовательности 256 чипов, которые передаются в каждом временном положении. Это позволяет UE синхронизировать свою работу с временными положениями узла B. Как только UE получает слот синхронизации, он «знает» только, что это начало или конец временного положения, но он «не знает» об особенностях информации, содержащейся в этом временном положении, или о характеристиках кадра. Особенности информации указывают вторичные коды синхронизации.

Всего имеется 16 различных вторичных кодов синхронизации. Один из кодов (256 чипов) посылается в начале временного положения. Он содержит 15 кодов синхронизации и 64 кода групп скремблирования. Когда UE получает эту информацию, оно может определить, какой код обозначает начало кадра. Этим способом завершается синхронизация.

Скремблирующие коды в SSCH дают возможность UE идентифицировать код, используемый в данном случае и, следовательно, идентифицировать узел B. Скремблирующие коды разделяются на 64 группы, по 8 кодов каждая. Это означает, что при достижении синхронизации кадра UE имеет для выбора только 8 кодов и поэтому может попытаться отслеживать общий пилот-канал (CPICH — Common Pilot Channel). Как только это будет сделано, UE сможет «прочитать» широковещательный канал BCH и достигнет еще лучшей синхронизации, что позволит ему отслеживать первичный общий физический канал управления (PCCPCH — Primary Common Control Physical Channel).

Управление мощностью

Подробно вопросы управления мощностью в системе CDMA рассмотрены в 2.6. Поэтому ниже кратко изложены принципы организации процессов управления мощностью для системы UMTS.

Как в любой системе, базирующейся на технологии CDMA, в системе UMTS существенно, чтобы узел B получал от всех UE сигнал приблизительно одной и той же мощности. Если это не регулировать, то станции, находящиеся дальше от узла B, будут на приеме иметь более низкий уровень сигнала, чем ближние. Сигналы с высоким уровнем будут подавлять сигналы с низким уровнем, и узел B не сможет принять их. Этот эффект часто упомина-

ется в литературе, как эффект «ближний–дальний». Чтобы его преодолеть, узел B передает команды ближним станциям с целью уменьшить их мощность передачи, а тем, которые дальше, увеличить ее. Этим способом узел B будет получать от всех станций приблизительно одинаковый уровень сигналов.

Управление мощностью также важно для узлов B. Так как сигналы, передаваемые различными узлами, не ортогональны друг другу, возможно некоторые из них будут влиять друг на друга. Соответственно их мощности должны быть минимально необходимыми для обслуживаемых UE.

Для регулирования мощности существует два метода: по открытому циклу и закрытому циклу.

Метод по открытому циклу используется на начальном этапе перед установлением соединения между UE и узлом B. Это простые действия, основанные на измерении уровня сигнала для принятия решения о требуемой мощности сигнала на передаче. При этом предполагается, что мощности прямого и обратного сигнала коррелированы. Однако частоты прямого и обратного канала различны, могут отличаться также пути следования, поэтому метод не может давать хорошей оценки требуемой мощности. Он может использоваться лишь для приблизительной оценки.

Как только UE получает доступ к системе через узел B, используется техника зарытого цикла. На узле B проводятся измерения в каждом временном положении. Как результат этих измерений к UE передается информация о регулировании мощности передатчика (запрос на пошаговое увеличение или уменьшение мощности). Измерение сигнала и управление мощностью идет в обоих направлениях (от узла B к UE и обратно). Для непрерывного управления мощностью используется фактически один бит (1 — увеличить, 0 — уменьшить). Как только достигается необходимый уровень мощности, его либо уменьшают, либо увеличивают, чтобы обеспечить непрерывность процесса. Практически позиция UE все время изменяется или изменяется путь следования радиосигнала. В результате движение приводит к изменению уровня сигнала, так что непрерывность процесса регулирования мощности не представляет проблемы.

Глава 4

СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА 802.16e. МОБИЛЬНЫЙ WiMAX

В настоящем разделе дан краткий обзор систем мобильной связи — мобильный WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access — Всемирный доступ для взаимодействия микроволновых сетей) — на основе стандарта IEEE 802.16e, приводятся рабочие характеристики минимальной основной конфигурации на основе этого стандарта [62, 103, 127]. Мобильный WiMAX может обеспечить скорость в десятки мегабит в секунду для основных конфигураций базовых станций, реализованных согласно системе стандартов (системному профилю*) беспроводной связи IEEE 802.16, известной также под общим названием WiMAX. Высокая скорость позволяет эффективно мультиплексировать данные и уменьшить задержки по времени при передаче данных.

Ниже будут рассмотрены основные новые технические решения, например, адаптивные антенные системы (AAS — Adaptive Antenna System), которые значительно улучшают рабочие характеристики, но без подробного анализа последних.

Сервисные службы, которые могут поддерживать системы на основе WiMAX, включают широкополосные услуги, требующие высоких скоростей передачи данных, включая потоки видео и VoIP, с высоким качеством обслуживания.

Характеристики мобильного WiMAX предполагают взаимодействие между ним и широкополосными проводными системами, включая цифровые абонентские линии, использующие технологии xDSL. Важным требованием для успеха проекта является обеспечение услуг мобильного Интернета.

---

* Профиль — совокупность требований, ориентированных на выполнение определенной прикладной функции или на построение конкретной системы. Профиль базируется на требованиях определенного стандарта, но не повторяет его спецификации, а только ссылается на них. Российский аналог — руководящие указания (РУК).

Наращиваемая архитектура, высокая производительность при передаче данных и низкая, по сравнению с другими системами, стоимость услуг, использующих широкополосные системы, делают мобильный WiMAX лидером беспроводных широкополосных услуг. Другие преимущества WiMAX заключаются в открытой структуре стандартов, «дружественных» интерфейсах и обеспечении здоровой экосистемы.

Множество компаний внесли свой вклад в развитие технологии и часть из них объявили планы развития этой технологии, что гарантирует удовлетворение другого важного требования для успеха использования технологии — низкую стоимость мобильного Интернета.

4.1. Основные характеристики и свойства

Для общего представления ниже приведены основные характеристики мобильного WiMAX, после чего они будут рассмотрены более детально.

Технология мобильного WiMAX базируется на двух стандартах — на стандарте IEEE 802.16-2004 (Air Interface Standard) и принятом 7 декабря 2005 года стандарте IEEE 802.16e-2005, который будет играть ключевую роль при построении широкополосной радиосети города. Первый центр по сертификации систем этого стандарта развернут в лаборатории Cetecom Labs (Малага, Испания).

7 декабря 2005 IEEE ратифицировал поправки к стандарту IEEE 802.16, названные IEEE 802.16e. Эти поправки расширяют требования и перечень характеристик, необходимые для обеспечения работы мобильных абонентов WiMAX [53]. Базируясь на поправках IEEE 802.16e, касающихся мобильности, WiMAX Forum определил основные характеристики и профиль сертификации (рис. 4.1). Для наземной сети он определил архитектуру, необходимую для того, чтобы осуществить мобильные соединения WiMAX «из конца в конец».



Рис. 4.1. Принцип организации мобильного профиля WiMAX

Мобильный WiMAX — это система беспроводной связи, которая допускает и обеспечивает конвергенцию (постепенное сближение) мобильной широкополосной и стационарной сетей на основе технологии радиодоступа и гибкой архитектуры сети.

В системе мобильного WiMAX для радиоинтерфейса принят ортогональный многостанционный доступ с частотным разделением каналов (OFDMA — Orthogonal Frequency Division Multiple Access), который обеспечивает хорошие характеристики в условиях многолучевости и отсутствия прямой видимости. Этот метод доступа [3, 22] заключается в том, что последовательный поток информации из N символов разбивается на n блоков по N/n символов в каждом, причем символы разных блоков передаются параллельно, каждый на своей поднесушей. Преимущество данного метода состоит в том, что он позволяет снизить до минимума или полностью исключить межсимвольные искажения, возникающие в радиоканале.

Для того, чтобы дать возможность наращивать пропускную способность канала от 1,25 до 20 МГц поправками IEEE 802.16e был введен метод под названием «наращиваемый OFDMA» (S-OFDMA — Scalable OFDMA) [109]. Группа WiMAX Forum, которая занимается обеспечением мобильности, разработала системные профили, оговаривающие обязательные и дополнительные характеристики, необходимые для построения гибкого радиоинтерфейса. Системный профиль мобильного WiMAX позволяет создавать мобильные системы на основании общей базы и общего набора характеристик, которые гарантируют полностью совместимые основные функциональные возможности для терминалов и базовых станций [90–92].

Некоторые из характеристик системных профилей необязательны, они обеспечивают гибкость при создании сетей и устройств на базе различных сценариев и оптимизируют их характеристики в конкретных условиях.

Группа NWG (Network Working Group), входящая в WiMAX Forum и занимающаяся сетевыми вопросами, определила спецификации высшего уровня, помимо тех, которые определены в стандартах IEEE 802.16 для радиоинтерфейса. Объединение усилий разработчиков IEEE 802.16 и WiMAX Forum помогло найти решения для установления WiMAX-соединения «из конца в конец» для мобильных объектов.

Мобильные системы WiMAX предлагают технологии и архитектуру, обеспечивающие наращиваемость радиодоступа и сетевых услуг, поддерживая таким образом бóльшую гибкость сетей.

Некоторые из существенных характеристик, которые обеспечиваются мобильным WiMAX, приведены ниже.

Высокая скорость передачи данных обеспечивается применением: MIMO* (Multi Input — Multi Output) антенны в сочетании с гибкими схемами каналообразования, усовершенствованным кодированием и модуляцией. Все это позволяет технологии мобильного WiMAX поддерживать пиковую скорость данных до 63 Мбит/с по направлению «вниз» и пиковую скорость данных до 28 Мбит/с в направлении «вверх».

Качество обслуживания (QoS) является фундаментальным условием архитектуры протоколов доступа к среде (IEEE 802.16 MAC — Media Access Control). Качество обслуживания в системе WiMAX определяется применением метода DiffServ — дифференцированного обслуживания, который является стандартизированным методом для поддержки служб с различными уровнями качества. При этом трафик разделяется с помощью меток на несколько групп в зависимости от QoS.

Мобильный WiMAX предусматривает применение многопротокольной коммутации с использованием меток (MPLS — Multiprotocol Label Switching). Эта технология использует метки в пакетах данных и позволяет создавать выделенные коммутируемые потоки. Ее применение позволяет осуществлять IP-соединения с учетом QoS. Оптимальное использование времени, пространства и частоты обеспечивается механизмом образования подгрупп каналов на заданное время (subcanalization) и сигнализацией по ОКС, использующей специальные сигнальные протоколы прикладного уровня MAP (Mobile Application Part).

Наращиваемость. Технология WiMAX разработана таким образом, что она способна наращивать число каналов и работать при различных методах формирования каналов в спектре от 1,25 до 20 МГц, чтобы удовлетворить различным требованиям к использованию диапазона.

Все это позволяет достичь выгодных экономических решений в конкретной географической зоне, например, обеспечить доступный беспроводной Интернет в сельской местности, предоставить мобильную связь в пригородах с малой плотностью абонентов и т.п.

Безопасность. Применяемые средства безопасности являются лучшими в классе расширяемых протоколов аутентификации (EAP — Extensible Authentication Protocol). Эти методы основаны на применении дополнительных средств кроме SIM-карты (одноразовые маркеры, цифровые подписи и пр.). Схемы шифрования основаны на усовершенствованном стандарте шифрования AES (Advanced Encryption Standard) и коде аутентификации сообщений

---

* Технология MIMO предполагает применение двух или более передающих и принимающие антенн, что позволяет увеличить скорость передачи и применять новые технологии для улучшения качества.

на основе хеширования* (HMAC — Hash based Message Authentication Code). Эти методы поддерживают различные средства аутентификации: SIM- или USIM-карты, интеллектуальные карты (Smart Card), цифровые подписи, схемы «пользователь–пароль».

Мобильность. Мобильный WiMAX поддерживает оптимальные схемы передачи соединения (хэндовера) с временами задержки менее 50 миллисекунд, что гарантирует работу приложений реального масштаба времени, таких как VoIP. Они выполняются без ухудшения качества обслуживания. Гибкие схемы управления ключами гарантируют безопасность в процессе передачи соединения.

4.2. Основы ортогонального многостанционного доступа с частотным разделением каналов — OFDMA

Ортогональный многостанционный доступ с частотным разделением каналов базируется на системе мультиплексирования OFDM.

Ортогональное частотное разделение каналов (OFDM — Orthogonal Frequency Division Multiplexing) — методика мультиплексирования, которая разделяет полосу канала на множество поднесущих частот [3, 5], как показано на рис. 4.2.

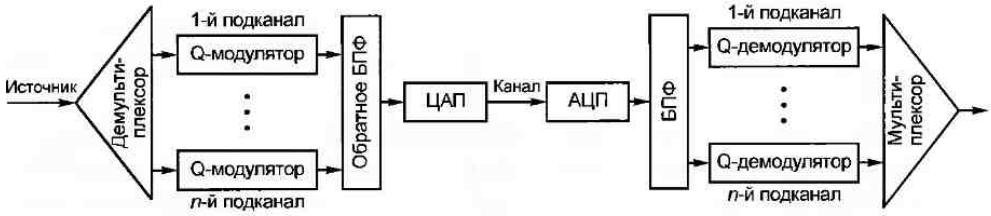


Рис. 4.2. Модуляция с несколькими несущими

Q-модулятор	Модулятор с квадратурным представлением сигнала
Q-демодулятор	Демодулятор с квадратурным представлением сигнала
БПФ	Быстрое преобразование Фурье
ЦАП	Цифро-аналоговый преобразователь
АЦП	Аналого-цифровой преобразователь

В системе OFDM входной поток данных разделен на несколько параллельных подпотоков с уменьшенной скоростью передачи данных (с увеличением продолжительности каждого передаваемого на этой частоте знака). Ка-

* Хэширование — метод шифрования с помощью таблицы, отображающей фрагменты открытого сообщения в шифрованную строку фиксированной длины.

ждый подпоток модулируется и передается на отдельной ортогональной* поднесущей частоте. Протокольная единица, передаваемая с помощью одной несущей, называется *символом*. Увеличенная продолжительность символа улучшает устойчивость OFDM, уменьшая максимальный разброс между длительностью символов, предаваемых с помощью разных несущих.

Основные устройства, обеспечивающие модуляцию с несколькими несущими по принципу OFDM, показаны на рис. 4.2. Каждый подканал работает на своей несущей частоте. Если обозначить частоту первой несущей ω, то, вторая несущая будет иметь частоту 2ω, и т.д. для n-го канала эта частота будет равна $n\omega$.

Если для каждого из n подпотоков применить квадратурную модуляцию, то получим n квадратурных (ортогональных) функций типа $a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t$. Если функции всех подканалов просуммировать, то получим функцию, сходную с функцией, называемой рядом Фурье:

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{N-1} \left[a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t \right].$$

Функция, полученная в результате модуляции, отличается от ряда Фурье тем, что она конечна. Для увеличения точности обработки и исключения взаимного влияния каналов реальная функция дополняется «префиксом», содержащим несколько значений ряда Фурье (псевдоканалов). Он устанавливается перед последовательностью квадратурных сигналов. Это увеличивает точность получения функции $x(t)$ и позволяет более четко отделять подканалы друг от друга.

Сумма функций, полученных в результате модуляции, «свертывается» с помощью обратного преобразования Фурье в одну функцию $x(t)$, которая преобразуется в цифровую форму и передается в линию.

На приемном конце происходит преобразование из цифровой формы в аналоговую, выполняется прямое преобразование Фурье, квадратурные функции каждого канала демодулируются и собираются в одну последовательность, Как было сказано, для устранения межсимвольной интерференции вводится циклический префикс (CP). Он добавляется в начало каждого OFDM-символа (рис. 4.3) и представляет собой циклическое повторение окончания символа. Наличие циклического префикса создает временны́е паузы между отдельными символами, и, если длительность «охранного» интервала превышает максимальное время задержки сигнала в результате многолучевого распространения, межсимвольной интерференции не возникает.

---

* Название «ортогональные» связано с тем, что поднесущие обладают свойством ортогональности, т.е. коэффициент взаимной корреляции между ними равен нулю.

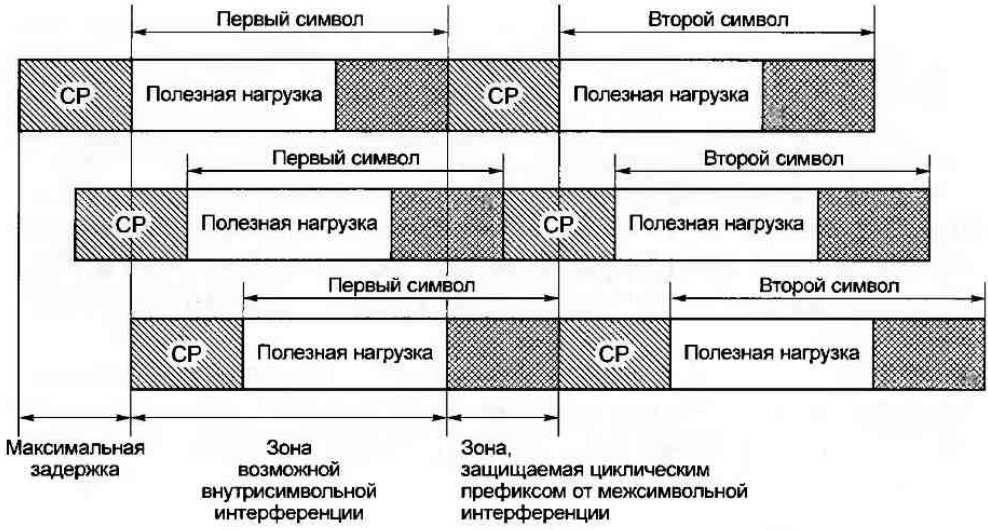


Рис. 4.3. Защита от межсимвольной интерференции с помощью циклического префикса

Циклический префикс является избыточной информацией и в этом смысле снижает полезную (информационную) скорость передачи, но именно он служит защитой от возникновения межсимвольной интерференции. Указанная избыточная информация добавляется к передаваемому символу в передатчике и отбрасывается при приеме символа в приемнике.

4.3. Структура и формирование OFDMA-подканалов

Структура подканала OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) [51, 52] содержит три типа поднесущих частот, как показано на рис. 4.4:

- поднесущие информационные частоты для передачи данных;
- поднесущие частоты для передачи пилот-сигналов (для измерений и целей синхронизации);
- нулевые поднесущие частоты, используемые для защитных интервалов частот.

Активные поднесущие частоты (информационные и пилот-сигнала) сгруппированы в поднаборы поднесущих частот, называемые *подканалами*. Поднесущие частоты, формирующие один подканал, могут, но не должны, быть смежными. Основная нагрузка и сигналы управления передаются в подканалах.

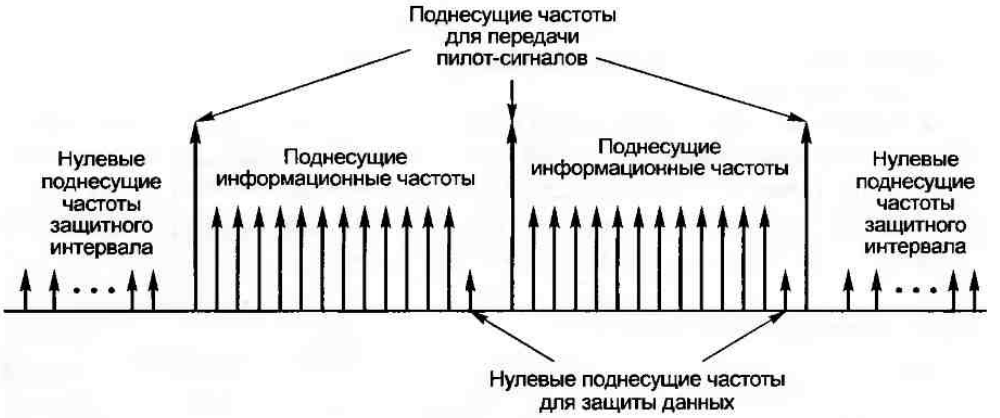


Рис. 4.4. Распределение поднесущих частот

Пилот-сигналы распределяются в зависимости от способа распределения поднесущих и направления потока.

При формировании подканалов в направлении «вниз»* применяются следующие способы:

- каналообразование с полным использованием поднесущих частот (FUSC — Fully Used Subcanalization);
- каналообразование с частичным использованием поднесущих частот (PUSC — Partly Used Subcanalization);
- смежные перестановки поднесущих адаптивной модуляции и кодирования (AMC — Adoptive Modulation and Coding).

Частичное использование поднесущих частот означает, что из всего набора несущих частот выбирается только часть. Устройства (например подвижные станции) работают, занимая только часть полосы. В этом случае вся излучаемая мощность концентрируется только в используемой полосе, что приводит к увеличению излучаемой мощности на каждую поднесущую. Для передачи информации в направлении «вверх»** в городских условиях это дает дополнительный запас на замирания.

Подканалы в направлении «вниз» могут работать с различным приемниками, подканалы в направлении «вверх» могут работать с различными передатчиками.

---

* Направление «вниз» (DL — Down Link) — линия в направлении от центрального узла к периферийному, в данном случае — от базовой станции к мобильной.

** Направление «вверх» (UL — Up Link) — линия в направлении от периферийного узла к центральному, в данном случае — от мобильной станции к базовой.

Существуют два типа подканалов, формируемых из поднесущих частот:
– смежные;
– с разнесением.

В первом случае для подканала выбираются поднесущие, которые находятся в диапазоне частот рядом. При формировании подканала с разнесением выбираются номиналы поднесущих частот для каждого канала в соответствии с псевдослучайной последовательностью. Это обеспечивает разнесение по частоте и усредняет межсотовую интерференцию.

4.3.1. Наращиваемый OFDMA

Режим передачи информации согласно стандарту IEEE 802.16e-2005 основан на концепции наращиваемого (масштабируемого) OFDMA — S-OFDMA (Scalable OFDMA) [109]. Он поддерживает широкий диапазон пропускной способности и гибко приспосабливается к потребностям в различных диапазонах спектра.

Наращивание пропускной способности (числа передаваемых единиц информации) поддерживается регулировкой числа шагов быстрого преобразования Фурье (БПФ — FFT — Fast Fourier Transform). Параметры S-OFDMA приведены в табл. 4.1. Техническая рабочая группа WiMAX Forum первоначально запланировала разработку документов (профилей) для значений ширины каналов 5 и 10 МГц (выделены в табл. 4.1 серым цветом).

Таблица 4.1. Параметры S-OFDMA

Параметр	Значение			
Ширина канала, МГц	1,25	5	10	20
Частота опроса F_p, МГц	1,4	5,6	11,2	22,4
Размер преобразования Фурье N_{FFT}	128	512	1024	2048
Число подканалов	2	8	16	32
Интервал между поднесущими, кГц	10,94			
Длительность полезного символа $T_b = 1/f$), мкс	91,4			
Защитный интервал $T_g = T_b/8$), мкс	11,4			
Длительность OFDMA-символа $T_s = T_b + T_g$, мкс	102,9			
Число символов (кадр 5 мс)	48			

4.3.2. Формирование подканала с полным использованием поднесущих частот в направлении «вниз»

Минимальной частотно-временной единицей формирования канала является один *слот*, который содержит 48 поднесущих. Это единица поддерживается физическим уровнем в обоих направлениях.

В табл. 4.2 приводится пример [109] распределения поднесущих частот при их полном использовании для формирования подканала в направлении «вниз».

Таблица 4.2. Распределение поднесущих с полным использованием в направлении «вниз» (DL FUCS)

Параметр	Значение			
Ширина полосы частот, МГц	1,25	5	10	20
Размер преобразования Фурье	128	512	1024	2048
Число защитных поднесущих частот	22	86	173	345
Число используемых поднесущих частот	106	426	851	1703
Число поднесущих частот данных	96	384	768	1536
Число поднесущих частот пилот-сигнала	9	42	83	166
Число подканалов	2	8	16	32

Для каждой полосы частот каналов выбирается количество частот, используемых в преобразовании Фурье.

Число защитных поднесущих определяется величиной максимальной задержки сигнала (см. рис. 4.3, 4.4). Для табл. 4.2 это время соответствует около 17% от числа, указанного в строке «размер преобразования Фурье». Эти поднесущие распределяются на два примерно равных поднабора — один в начале, другой в конце. Например, для размера преобразования Фурье 2048 в табл. 4.2 выбрано число защитных поднесущих 345. Число используемых поднесущих частот получается вычитанием числа защитных поднесущих из их общего числа. В данном примере остается 1703 поднесущих.

Для подканалов с полным использованием поднесущих частот и направлением «вниз» сначала распределяются *пилот-сигналы*, а затем *оставшиеся сигналы* распределяются на подканалы данных. Число пилот-сигналов указывается в стандарте. В данном примере это число равно166.

Число поднесущих частот данных определяется кратным 48.

Число подканалов определяется числом поднесущих частот данных и длиной слота (48 поднесущих). В данном примере оно равно 32 (1536/48 = 32).

4.3.3. Распределение поднесущих с частичным использованием в направлении «вниз»

При использовании способа DL PUSC для каждой пары символов OFDM, доступных или используемых, поднесущие частоты сгруппированы в *кластеры*, содержащие 14 непрерывных поднесущих частот на один период

символа. Пилот-сигналы и данные распределены в каждом кластере с учетом четных и нечетных символов как показано на рис. 4.5.

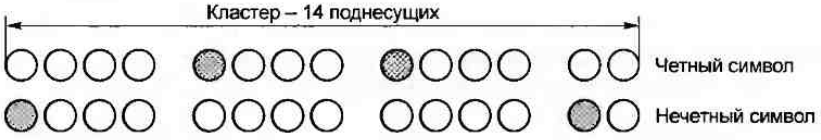


Рис. 4.5. Структура кластеров для четных и нечетных символов OFDM:
○ — информационная поднесущая; ◎ — поднесущая пилот-сигнала

Результат распределения поднесущих частот приведен в табл. 4.3. В ней выделены поднесущие защитного интервала. Зная число несущих в каждом кластере, можно определить максимальное число кластеров (минимальное число показано через черту). По величине поднесущих кластера определяется число поднесущих для передачи данных и пилот-сигналов.

Таблица 4.3. Распределение поднесущих с частичным использованием и направлении «вниз» (DL PUSC)

Параметр	Значение			
Ширина полосы частот, МГц	1,25	5	10	20
Размер преобразования Фурье	128	512	1024	2048
Число защитных поднесущих частот	43	91	183	367
Число используемых поднесущих частот	85	421	841	1681
Число кластеров/подканалов	6/3	30/15	60/30	120/60
Число информационных поднесущих частот	72	360	720	1440
Число поднесущих частот пилот-сигнала	12	60	120	240

4.3.4. Распределение поднесущих в направлении «вверх»

В данном случае для организации подканалов используется элемент, называемый «фрагмент» (tile*). Фрагмент компонуется из 4-х поднесущих. Для передачи 3-х символов OFDM используются приведенные на рис. 4.6 компоновки. Каждый символ отображается фрагментом, состоящим из четырех несущих.

Каждый подканал содержит 6 фрагментов по 4 поднесущих в каждом, используемых в соответствии с рис. 4.6. Таким образом, для одного подканала используется 24 поднесущих. Для 3-х символов используется 24×3 = 72 поднесущих. Из этих поднесущих образуется слот, содержащий 48 поднесущих для передачи данных и 24 поднесущих пилот-сигнала.

* Буквальный перевод tile — одна черепица, элемент мозаичного панно.

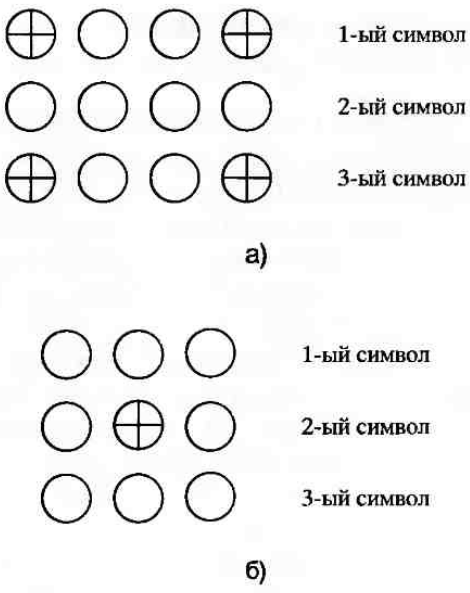


Рис. 4.6. Компоновка символов с помощью несущих:
а) 3-х символов с помощью 4-х поднесущих;
б) 3-х символов с помощью 3-х поднесущих
⊕ — поднесущая пилот-сигнала; ○ — информационная поднесущая

Результат распределения поднесущих частот приведен в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Распределение поднесущих в направлении «вверх» (UL)

Параметр	Значение			
Ширина полосы частот, МГц	1,25	5	10	20
Размер преобразования Фурье	128	512	1024	2048
Число защитных поднесущих частот	31	103	183	367
Число используемых поднесущих частот	97	409	841	1681
Число фрагментов	24	102	210	420
Число подканалов	4	17	35	70

При распределении поднесущих в направлении «вверх» возможно использование фрагментов, показанных на рис. 4.6, *б*, которые содержат 3 поднесущих на фрагмент, что немного увеличивает число подканалов.

4.3.5. Распределение поднесущих с помощью смежных перестановок

Смежная перестановка группирует блок смежных поднесущих частот, чтобы сформировать подканал. Блоки представляют собой наборы кодовых комбинаций системы адаптивной модуляции и кодирования (AMC — Adaptive Modulation and Coding — адаптивная модуляция и кодирование) для направлений «вниз» (DL) и «вверх» (UL), которые имеют одну и ту же структуру, и содержат контейнеры, включающие в себя передаваемые символы. Контейнер состоит из 9 смежных поднесущих частот в символе. Из этих символов восемь предназначены для передачи данных и один для передачи пилота-сигнала.

Слот в AMC определен как совокупность контейнеров типа ($N \times M = 6$), где N — число смежных контейнеров и M — число смежных символов. Таким образом, возможны следующие комбинации: 6 контейнеров, 1 символ; 3 контейнера, 2 символа; 2 контейнера, 3 символа; 1 контейнер, 6 символов.

Вообще, частичное или полное распределения поднесущей частоты дают хорошие результаты в мобильных приложениях, в то время как смежные перестановки поднесущей частоты хорошо удовлетворяют приложениям с фиксированным местоположением или с низкой подвижностью.

Чтобы подытожить рассмотрение вопроса о разделении поднесущих, заметим, что после распределения проводится их нумерация [51, 52, 109]. Нумерация позволяет разместить логические поднесущие по физическим, при этом проводится перемежение. Поскольку мобильный WiMAX предусматривает работу с несколькими антеннами (этот метод будет рассмотрен ниже), нумерация допускает распределение поднесущих антеннам с применением пространственного кодирования.

4.3.6. Зоны переключения

Гибкость использования мобильного WiMAX обеспечивается сегментированием и созданием зон переключения.

Сегмент — это объединение части доступных OFDMA-подканалов (в крайнем случае, один сегмент может содержать все подканалы). Один сегмент используется для установления единственного экземпляра процесса* управления доступом к среде (MAC).

---

* Экземпляр процесса представляет собой одну конкретную реализацию процесса, которая использует собственные данные экземпляра процесса. Например, телефонная станция устанавливает несколько исходящих соединений. Порождается несколько экземпляров процесса установления соединения, отличающихся данными (исходными и полученными в процессе обработки).

Зона переключения — множество смежных OFDMA-символов «вниз» или «вверх». В каждом из них использованы одни и те же методы разделения каналов.

Физический уровень ODFMA в пределах одного кадра обеспечивает работу с зонами, которые используют различные методы разделения поднесущих, предоставляя возможность работы с терминалами различных станций.

Рис. 4.7 иллюстрирует структуру зоны памяти, которая обеспечивает набор поднесущих, используемых в сотах. Соты идентифицируются с помощью идентификатора соты (ID Cell X, ID Cell Y, ID Cell Z). Идентификаторы этих сот размещаются в преамбуле. Идентификатор с номером ID Cell 0 закреплен за широковещательными соединениями. В данном случае в начале области каждой соты размещены адреса поднесущих, соответствующих принципу частичного использвания, а потом адреса поднесущих, соответствующих принципу полного использования. Эти области памяти могут быть использованы в зависимости от разработанной программы.

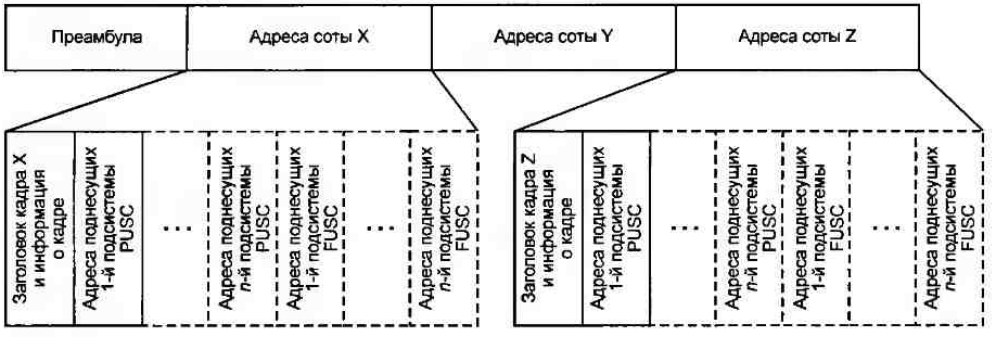


Рис. 4.7. Структура мультизонового кадра OFDMA:

PUSC (Part Used Sub Carrier) — подсистема с частичным использованием поднесущих
FUSC (Full Used Sub Carrier) — подсистема с полным использованием поднесущих

— Должен быть в каждом кадре — Может быть в каждом кадре

4.3.7. Структура кадра TDD

Документы рассматриваемого стандарта для физического уровня IEEE 802.16e PHY предусматривают дуплексную передачу с временным разделением (TDD — Time Division Duplex) и полудуплексную передачу по принципу «полудуплекс в частотным разделением» (HDFDD — Half-Duplex Frequency Division Duplex).

Однако в первую очередь разработан профиль, относящийся к TDD. Профили для принципа FDD будут предназначены только для тех стран, где TDD запрещен или где считается, что частотные методы работы предпочтительны для данной местности.

Для того, чтобы обеспечить устойчивую работу, метод TDD требует широко развитой системы синхронизации. Однако он все же предпочтителен по следующим соображениям:

- предоставляет возможность регулировки отношения скоростей «вверх» и «вниз» и тем самым эффективного обслуживания асимметричного трафика; принцип FDD обеспечивает передачу в каждом направлении с фиксированной скоростью, и в общем случае скорость по направлению «вниз» равна скорости по направлению «вверх»;
- обеспечивает взаимодействие с системой антенн MIMO и другими прогрессивными технологиями антенн;
- в отличие от FDD, который требует парных каналов, принцип TDD требует только одного канала по направлениям «вверх» и «вниз», что обеспечивает лучшую адаптацию в выделяемом спектре;
- реализация приемопередатчиков для TDD менее сложна, поэтому устройства, реализующие этот принцип, дешевле.

Рис. 4.8 отображает структуру кадра для дуплекса с временным разделением. Каждый кадр включает два подкадра — «вниз» и «вверх», разделенных промежутком передача/прием (TRG — Transmit/Receive Guard period) и прием/передача (RTG — Receive/Transmit Guard period) для предупреждения конфликтов.

Для нормальной работы в кадре содержится следующая информация.

Преамбула: используется для синхронизации, является первым OFDM-символом кадра. Преамбула содержит адреса отправителя и получателя, а также данные, необходимые для синхронизации.

Заголовок управления кадром (FCH — Frame Control Header): следует за преамбулой, содержит информацию о конфигурации кадра подсистемы мобильной связи, включая длину сообщения, схему кодирования, используемые подканалы.

Карты распределения информации для направлений DL-MAP и UL-MAP: содержат информацию о закреплении каналов и другую управляющую информацию для направлений «вниз» и «вверх».

Порядок расположения информации UL (ranging): данные о подканале, передаваемые по направлению «вверх», время распространения по замкнутой петле, информация для настройки частоты, управления мощностью и запросы на дополнительное расширение полосы пропускания.

UL-индикатор качества канала (*CQI — Channel Quality Indicator*) предназначен для регистрации информации о состоянии канала (обратной связи). Канал, по которому передается CQI называют CQICH.

Подтверждение UL ACK: информация подтверждения сообщений, которые поступили по направлению «вниз».

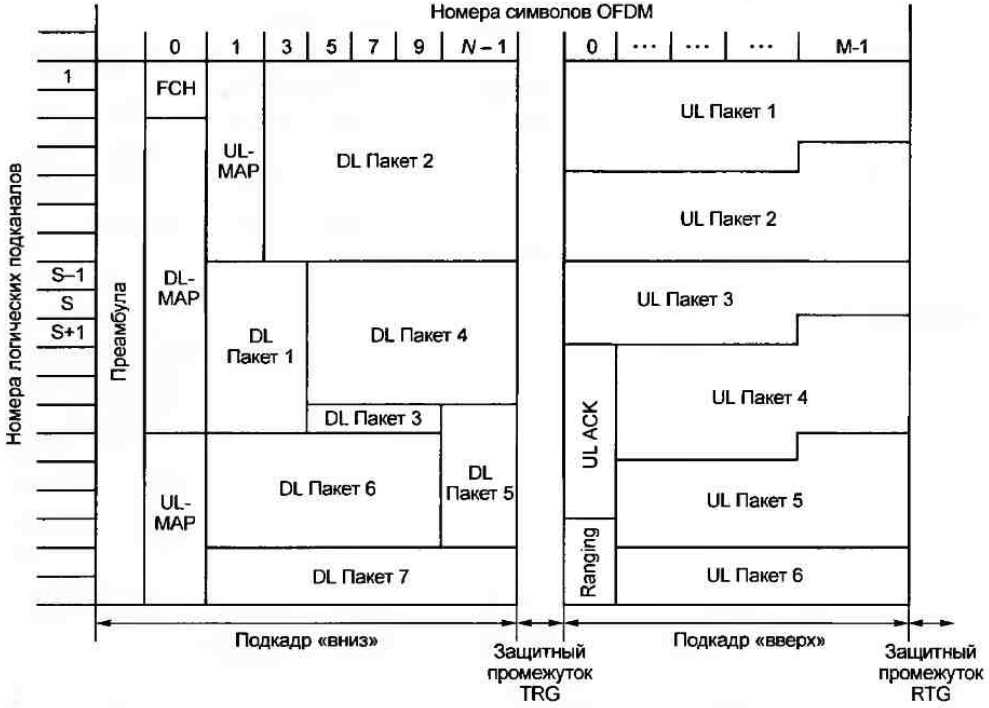


Рис. 4.8. Структура кадра OFDM WiMAX при работе по принципу TDD

4.4. Основные процедуры WiMAX

4.4.1. Процедуры физического уровня

Система мобильного WiMAX для того, чтобы увеличить объем и область применения мобильной связи, первая внедрила такие современные решения, как адаптивная модуляция и кодирование (AMC — Adaptive Modulation and Coding), гибридный автоматический повторный запрос (HARQ — Hybrid Automatic Repeat Request) и индикатор качества канала (CQI), о которых будет сказано ниже.

Мобильный WiMAX поддерживает различные виды модуляции. Для направления «вниз» обязательной является поддержка QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying — квадратурная фазовая манипуляция), 16QAM и 64QAM (Quadrature Amplitude Modulation — квадратурная амплитудная модуляция). В направлении «вверх» может применяться 64QAM.

Для кодирования применяются:

- сверточное кодирование (CC — Convolution Coding);
- сверточное турбо-кодирование (CTC — Convolution Turbo Coding) с переменной скоростью кода и повторным кодированием;
- блочное турбо-кодирование (BTC — Block Turbo Coding);
- кодирование низкой плотности с проверкой на четность (LDPC — Low Density Parity Check Coding).

Табл. 4.5 содержит информацию о применяемых схемах кодирования и видах модуляции, реализуемых в мобильном WiMAX.

Таблица 4.5. Применяемые коды, виды модуляции

Вид преобразования		Направление	
		Вниз	Вверх
Модуляция		QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Кодирование	Сверточное	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
	Турбо	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
	Повторное	×2, ×4, ×6	×2, ×4, ×6

Комбинации различных модуляций и кодовых скоростей обеспечивают очень удобную настройку пропускной способности системы для передачи данных. Программа-планировщик базовой станции определяет соответствующую скорость данных (или параметры пакета). Это определяется для каждого подмножества пакетов на основе размера буфера, состояния канала по оценке в приемнике и т.д.

Канал индикации качества канала (CQICH) используется для того, чтобы обеспечить передачу информации о состоянии канала от пользовательских терминалов к программе-планировщику базовой станции. Информация о состоянии, передаваемая по этому каналу (CQI), может включать в себя: оценку интерференции и отношения сигнал/шум, выбор частоты и способа работы антенн (MIMO) для отдельного канала. При дуплексном режиме с временным разделением для адаптации каналов может использоваться процедура более точного измерения состояния каналов (периодическое зондирование состояния каналов.).

Для улучшения пропускной способности системы применяется гибридный автоматический запрос на повторную передачу (HARQ — Hybrid Auto-

matic Repeat reQest). Он позволяет использовать N каналов в старт-стопном режиме с поблочным повторением. При использовании этого метода после отправки кадра передатчик делает паузу, в течение которой ожидается прием подтверждения. В зависимости от типа подтверждения (положительное — ACK или отрицательное — NAK) источник передает следующий кадр или повторяет предыдущий. Многоканальный стартстопный режим с небольшим числом каналов — эффективный, простой протокол, который минимизирует память.

WiMAX обеспечивает сигнализацию, допускающую работу в асинхронном режиме, что обеспечивает устойчивость работы в условиях переменной задержки При ретрансляции сигналов это дает больше гибкости программе-планировщику, но требует размещения избыточной информации в заголовке при каждой ретрансляции.

Гибридный автоматический повторный запрос совместно с каналом индикации качества канала (CQICH), адаптивной модуляцией и кодированием обеспечивает помехоустойчивую линию связи. Эта линия с большим энергетическим запасом обеспечивает мобильную связь в различной окружающей среде при скорости передвижения свыше 120 км/час.

В табл. 4.6 приведены скорости передачи данных для каналов 5 и 10 МГц с PUSC-подканалами. Продолжительность кадра — 5 миллисекунд. Каждый кадр имеет 48 OFDM-символов. Из них 44 OFDM-символа предназначены для передачи данных. Выделенные в таблице значения — это скорости данных для необязательного способа модуляции 64QAM в направлении «вверх».

Таблица 4.6. Параметы подканала с частичным использованием поднесущих (физический уровень) и скорости передачи данных по этим подканалам

Параметр	Направление			
	Вниз	Вверх	Вниз	Вверх
Полоса системы, МГц	5		10	
Число защитных поднесущих	512	1024	512	1024
Число нулевых поднесущих	92	104	184	184
Число поднесущих пилот-сигналов	60	136	120	280
Число поднесущих данных	360	272	720	560
Число подканалов	15	17	30	35
Период символа, T_S, мкс	102,9			
Длительность кадра, мс	5			
Число OFDM-символов в кадре	48			
Число символов данных	44			

Продолжение таблицы 4.6

Модуляция	Кодовая скорость	Канал 5 МГц		Канал 10 МГц	
		Скорость «вниз», Мбит/с	Скорость «вверх», Мбит/с	Скорость «вниз», Мбит/с	Скорость «вверх», Мбит/с
QPSK	1/2 CTC 6x	0,53	0,38	1,06	0,78
	1/2 CTC 4x	0,79	0,57	1,58	1,18
	1/2 CTC 2x	1,58	1,14	3,17	2,35
	1/2 CTC 1x	3,17	2,28	6,34	4,70
	3/4 CTC	4,75	3,43	9,50	7,06
16 QAM	1/2 CTC	6,34	4,57	12,67	9,41
	3/4 CTC	9,50	6,85	19,01	14,11
64 QAM	1/2 CTC	9,50	**6,85**	19,01	**14,11**
	2/3 CTC	12,67	**9,14**	25,34	**18,82**
	3/4 CTC	14,26	**10,28**	28,51	**21.17**
	5/6 CTC	15,84	**11,42**	31,68	**23,52**

4.4.2. Управление доступом к среде

Стандарты IEEE 802.16 были разработаны для предоставления широкополосных услуг, включая речь, данные и видео.

Уровень управления доступом к среде MAC основан на испытанном временем стандарте DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification — спецификации, интерфейса передачи данных по ТВ кабелю) [68] и может обеспечить передачу пульсирующего трафика данных с высоким пиковым запросом ресурсов. Пульсирующий трафик включает в себя передачу через один и тот же канал непрерывного потока видеоинформации и чувствительного ко времени задержки речевого трафика.

Ресурс, предоставляемый одному терминалу планировщиком MAC, может изменяться от единственного временно́го слота до полного кадра. Таким образом обеспечивается значительный динамический диапазон изменения ресурса пользовательского терминала в любой момент времени. Кроме того, распределение ресурса может изменяться на основании сообщений, передаваемых в начале каждого кадра, тем самым приспосабливая ресурсы к трафику, имеющему внезапные пики нагрузки.

4.4.3. Обеспечение качества обслуживания

Используя скоростные радиолинии, асимметричное соотношение между пропускной способностью «вниз» и «вверх», тонкую настройку ресурса и гибкий механизм распределения ресурса, мобильный WiMAX может выполнить тре-

бования по качеству обслуживания (QoS) для широкого диапазона услуг передачи данных и различных приложений.

На уровне управления доступом к среде качество обслуживания обеспечивается посредством сервисных потоков, как это показано на рис. 4.9. Они представляют собой однонаправленные потоки пакетов, которые обеспечивают конкретный набор параметров QoS.



Рис. 4.9. Поддержка качества обслуживания в мобильном WiMAX:
SID (Service ID) — идентификатор сервиса;
CID (Connection ID) — идентификатор соединения

Перед началом обслуживания некоторого типа данных базовая станция и пользовательский терминал устанавливают однонаправленное логическое соединение между MAC с одинаковыми характеристиками (peer-to-peer). Далее MAC доставляет информацию по этому логическому соединению. Параметры QoS, связанные с этим сервисным потоком, определяют порядок и планирование передачи по радиоинтерфейсу. В соответствии с параметрами этого потока могут динамически управляться характеристики сервиса. Такое управление должно обеспечивать качество обслуживания в обоих направлениях. Для потока с другим QoS устанавливается другой логический канал.

В табл. 4.7 показаны характеристики качества сервиса для различных приложений.

Таблица 4.7. Приложения и качество обслуживания мобильного WiMAX

Категория QoS	Приложение	Описание QoS
Сервис по запросу	VoIP	Максимальная возможная скорость Максимальная устойчивость к задержкам Устойчивость к джиттеру
Сервис реального времени по запросу	Поток радио- и видеоинформации	Минимальная зарезервированная скорость Максимальная возможная скорость Максимальная устойчивость к задержкам Приоритетный трафик

Продолжение таблицы 4.7

Категория QoS	Приложение	Описание QoS
Расширенный сервис реального времени по запросу	Голос с распознаванием активности (VoIP)	Максимально возможная скорость Максимальная устойчивость к задержкам Устойчивость к джиттеру Приоритетный трафик
Сервис по запросу без требования реального времени	Протокол передачи файлов (FTP)	Минимальная зарезервированная скорость Максимальная возможная скорость Приоритетный трафик
Сервис с негарантированным качеством	Обмен данными, передача WEB-страниц	Максимальная возможная скорость Приоритетный трафик

4.4.4. Служба планирования управления доступом к среде

Служба MAC мобильного WiMAX разработана для эффективного предоставления широкополосных услуг, включая речь, данные, видео, по изменяющемуся во времени каналу. Служба планирования MAC имеет следующие составляющие:

Быстрый планировщик. Планировщик MAC должен эффективно распределить доступные ресурсы в ответ на изменение трафика и изменяющееся во времени состояние канала. Пакеты данных, связанные с обслуживанием потока, для которого точно определены параметры QoS на MAC-уровне, обслуживаются планировщиком так, чтобы порядок передачи пакетов через радиоинтерфейс был определен корректно.

Канал индикации качества канала при этом обеспечивает передатчику быструю обратную связь информации канала, что дает возможность планировщику выбрать соответствующее кодирование и модуляцию для каждого распределения ресурсов.

Адаптивная модуляция/кодирование, объединенная с автоматическим запросом повторной передачи, обеспечивает устойчивую передачу по изменяющемуся во времени каналу.

4.4.5. Управление мощностью

Мобильный WiMAX имеет два режима для управления мощностью — «спящий» режим и свободный режим.

«Спящий» режим — это состояние перед началом обмена с обслуживающей базовой станцией по радиоинтерфейсу. Этот период характерен тем, что мобильная станция не готова к приему или передаче информации «вниз» или «вверх». «Спящий» режим предназначен для экономии мощности мобильной

станции и ресурсов радиосети. Он предоставляет возможность MS сканировать другие базовые станции, чтобы подготовить хэндовер в этом режиме.

Свободный режим — это механизм, позволяющий MS быть периодически доступной для связи «вниз» и приема широковещательных сообщений без регистрации в заданной базовой станции, когда MS пересекает зоны многих базовых станций. Достоинство свободного режима в том, что он устраняет лишние запросы на хэндовер и освобождает базовые станции и сеть от лишних работ по передаче вызова. В то же время он имеет возможность принять сигнал о необходимости приема трафика, направленного «вниз».

4.4.6. Инициализация вызова и запрос полосы

Физический уровень позволяет разместить поступающие вызовы в частотной радиополосе, предоставленной данной базовой станции. Процесс инициализации вызова используется не только на первоначальном этапе, но и периодически при работе подвижной станции для регулировки параметров, например, при временных сдвигах или изменениях уровня мощности.

В случае инициативы абонентской станции к базовой передается специальный запрос на инициализацию. (При входящей связи сигнал запроса на инициализацию не требуется). Приняв сигнал запроса, базовая станция начинает процесс инициализации. Вначале формируется псевдослучайная последовательность. Эта последовательность формируется генератором псевдослучайного кода с помощью циклического полинома. Всего для запроса предусмотрен набор из 256 кодов. Код — последовательность бинарных символов длиной 144 бита. Символы модулированы методом двоичной фазовой манипуляции (BPSK — Binary Phase Shift Keying). Для передачи этой последовательности используется 6 смежных подканалов с 24 поднесущими каждый. В качестве исходных данных для формирования псевдослучайного кода используется идентификатор соты ID Cell. Значение самого кода зависит от момента обращения к генератору псевдослучайных чисел и числа тактов формирования последовательности.

Базовая станция формирует три последовательности кодов:

N — код процесса инициализации;

M — код процесса периодической подстройки;

L — код запроса полосы.

При начальной инициализации необходимы все три последовательности.

Получив наборы псевдослучайных кодов в соответствии с номером (идентификатором) базовой станции и картой распределения информации (UL-MAP), абонентская станция определяет местоположение различной информации в сообщении. Абонентская станция случайным образом выбирает

один код из предложенного множества и передает его обратно к базовой станции.

Различные абонентские станции могут конкурировать за пропускную полосу, и их запросы могут прийти на базовую станцию одновременно. Базовая станция выбирает одну из них и посылает ей в ответ информацию. В ответном сообщении размещается следующая информация: полученный псевдокод, подканал и номер того OFDM-символа, в котором был передан этот код. Абонентская станция, приняв это подтверждение, подготавливается к принятию информации о выделяемом ресурсе. В следующем широковещательном сообщении передается информация: идентификатор соединения (CID — Connection ID), идентификатор сервиса (SID), необходимые для контроля параметры. Далее абонентская станция начинает процедуру аутентификации и регистрации.

С учетом возможности поступления одновременных вызовов, код, выбранный абонентской станцией, транслируется в двух последовательных символах. Это обеспечивает интервал времени, достаточный для разрешения конфликта. В случае значительной вероятности одновременного поступления многих вызовов на базовую станцию указанный интервал увеличивают за счет посылки четырех последовательных сообщений.

Если передается сообщение периодической подстройки параметров, то оно передается в одном символе. Сообщение запроса полосы указывает номер полосы.

4.4.7. Передача вызова (хэндовер)

Существует три метода передачи вызова, реализуемые стандартом IEEE 802.16e — жесткий хэндовер HHO (Hard Handover), быстрое переключение базовой станции FBSS (Fast Base Station Switching) и хэндовер с макроразнесением MDHO (Macro Diversity Handover). Из них, HHO — обязательный, а FBSS и MDHO — два необязательных (опциональных) режима.

В рамках стандарта IEEE 802.16e WiMAX Forum разработал несколько методов для того, чтобы оптимизировать жесткий хэндовер. Эти усовершенствования были введены с целью обеспечить время процедуры передачи вызова не более чем 50 мс.

Когда реализуется метод быстрого переключения базовой станции FBSS, мобильная и базовая станции обслуживают список станций, на которые может переключиться данная мобильная станция (MS). Набор, включенный в этот список, называется активным набором. MS непрерывно контролирует базовые станции в активном наборе. Среди базовых станций активного набора есть станция, через которую мобильная станция может получить доступ к сети связи — базовая станция привязки (ABS — Anchor Base Station). Когда

мобильная станция работает по методу FBSS, она соединяется только с ABS для обмена сообщениями «вниз» и «вверх», включая сообщения технического обслуживания и сообщения трафика. Переход от одной ABS к другой BS (то есть, коммутация BS) выполняется без явного обмена сообщениями хэндовера.

Процедуры модификации ABS позволяют передать сообщение об интенсивности сигнала обслуживающей BS через канал индикации качества канала CQICH.

Хэндовер по методу FBSS начинается с решения MS получить или транслировать данные от ABS, которые могут изменить активный набор. MS сканирует соседние базовые станции и выбирает те, которые могут быть включены в активный набор. Анализ списка выбранных станций (отчет) и процедура модификации активного набора выполняются совместно базовой и мобильной станциями. Мобильная станция постоянно контролирует интенсивность сигналов базовых станций, которые находятся в активном наборе, и выбирает одну из этого набора для того, чтобы она использовалась как ABS.

Мобильная станция сообщает о выборе ABS по каналу индикации качества или мобильной станции, передавшей запрос о хэндовере. Важнейшее требование FBSS состоит в том, чтобы данные передавались одновременно всем членам активного набора базовых станций, которые могут обслужить данную мобильную станцию.

Когда реализуется хэндовер с макроразнесением (MDHO), мобильная станция может получить доступ к сети связи через станцию привязки. В этом режиме мобильная станция обменивается в направлениях «вниз» и «вверх» однонаправленными и двунаправленными сообщениями, переносящими информацию, с единственной станцией, записанной в активный набор.

Хэндовер с макроразнесением начинается тогда, когда мобильная станция решает проводить обмен с несколькими станциями в одно и тоже время. Для направления «вниз» MDHO обеспечивает обмен сообщениями мобильной станции с двумя или более базовыми станциями, а объединение этих сообщений происходит на одной базовой станции. Для направления «вверх» сообщение от мобильной станции получается многими базовыми станциями, где выполняется определение ее новой ABS.

4.4.8. Безопасность

Мобильный WiMAX обладает высоким классом безопасности, что реализуется лучшими из доступных на сегодняшний день технологиями. Реализованы следующие из них:

– взаимная аутентификация устройство/пользователь;
– протокол гибкого изменения ключей шифрования;

– глубокое шифрование трафика;
– управление и администрирование защиты сообщений;
– оптимальный протокол защиты для быстрого хэндовера.

Основные средства и действия обеспечения безопасности следующие:

Протокол управления ключами. Как определено в стандарте IEEE 802.16e, протокол конфиденциальности и управления ключами версии 2 (PKM.v2 — Privacy and Key Management protocol. Version 2) является основой безопасности мобильного WiMAX. Этот протокол управляет безопасностью среды доступа, используя сообщения запрос/ответ для процедур аутентификации PKM. На этом протоколе основываются процедуры управления шифрованием трафика, изменения ключей при хэндовере и безопасность при групповой и широковещательной рассылке.

Аутентификация устройство/пользователь. Мобильный WiMAX поддерживает протокол аутентификации устройств и пользователя, используя расширяемый протокол аутентификации EAP (Extensible Authentication Protocol). Этот протокол обеспечивает работу с SIM- и USIM-картами, цифровыми подписями и системой «имя пользователя–пароль». Этот метод поддерживает обновление ключей.

Шифрование трафика. Для шифрования всех пользовательских данных используется усовершенствованный стандарт шифрования AES (Advanced Encryption Standard). Ключ шифрования генерируется при процедуре аутентификации и обновляется периодически, что улучшает защиту от перехвата ключей.

Защита управляющих сообщений осуществляется с помощью процедур шифрования, аналогичных процедурам шифрования трафика.

Поддержка быстрого хэндовера. Обеспечивается последовательностью проведения хэндовера, оптимальной схемой повторной аутентификации при хэндовере.

4.5. Современные технологии мобильного WiMAX

4.5.1. Технологии интеллектуальной антенны

Характеристики и принципы построения интеллектуальных антенн

Технологии интеллектуальной антенны включают в себя сложные алгоритмы управления множеством антенн, функционирующих по векторному или матричному принципу (антенны с переключением, решетчатые антенны и т.п.). OFDMA очень подходит для поддержания таких технологий. Фактически система со многими антеннами MIMO и OFDMA являются основой для следующего поколения широкополосных систем связи.

В целях улучшения системных рабочих характеристик мобильный WiMAX поддерживает весь диапазон технологий интеллектуальной антенны. Для поддержания технологии интеллектуальной антенны применяются следующие процедуры:

Формирование диаграммы направленности. Путем формирования диаграммы направленности система использует множество антенн для передачи сигналов, улучшающих охват и емкость системы и уменьшающих вероятность нарушения связи.

Коды пространство–время STC (*Space-Time Code*). Используются для того, чтобы обеспечить пространственное разнесение и оптимальный запас на замирания.

Пространственное мультиплексирование SM (*Spatial Multiplexing*). Применяется для повышения скоростей и увеличения пропускной способности. При пространственном мультиплексировании множество потоков передается по множеству антенн. Если приемник также имеет множество антенн и может отделить различные потоки, это позволяет достигнуть высокой пропускной способности по сравнению с одиночной антенной. Использование системы MIMO 2×2 с пространственным мультиплексированием увеличивает пиковую скорость передачи данных вдвое, благодаря передаче двух потоков данных. В направлении «вверх» каждый пользователь имеет только одну передающую антенну. Два пользователя могут передавать совместно в одном и том же слоте, как будто два потока пространственно мультиплексированы от двух антенн того же самого пользователя. Такой способ называется совместным пространственным мультиплексированием «вверх».

Рабочие характеристики интеллектуальных антенн, используемых в мобильном WiMAX, приведены в табл. 4.8.

Таблица 4.8. Характеристики интеллектуальных антенн

Направление	Диаграмма направленности	Кодирование пространство–время	Пространственное разнесение
«вниз» (DL)	$N_t \geq 2, N_r \geq 1$	$N_t = 2, N_r \geq 1$, матрица	$N_t = 2, N_r \geq 2$, матрица с вертикальным кодированием
«вверх» (UL)	$N_t \geq 1, N_r \geq 2$	Не определено	$N_t = 1, N_r \geq 2$, пространственное мультиплексирование «вверх»
N_t — число передающих антенн; N_r — число приемных антенн			

Мобильный WiMAX допускает адаптивный выбор (переключение) между этими вариантами для того, чтобы максимизировать преимущества технологий с применением интеллектуальной антенны при различных состояниях канала. Адаптивный переключатель интеллектуальной антенны показан на

рис. 4.10. Последовательность символов, поступающая на кодер, преобразуется символьным преобразователем в пространственную форму либо мультиплексируется для передачи по подканалам. В соответствии с программой, заложенной в адаптивный преобразователь (например, согласно заданной матрице, отражающей пространственное разнесение подканалов), и в зависимости от текущего состояния каналов сигналы передаются по разным подканалам. Они могут также использоваться для преобразования подканалов (например, изменять диаграмму направленности элементов адаптивной антенны), что позволяет изменять параметры среды передачи с целью улучшения качества в соответствии с текущим положением каналов. Далее полученные сигналы распространяются по определенному закону (последовательно или в соответствии с заданной матрицей) в устройства обратного преобразования Фурье для пространственно-раздельной передачи по радиоинтерфейсу. На приемном конце пространственные сигналы объединяются, и происходит обратное преобразование и декодирование.

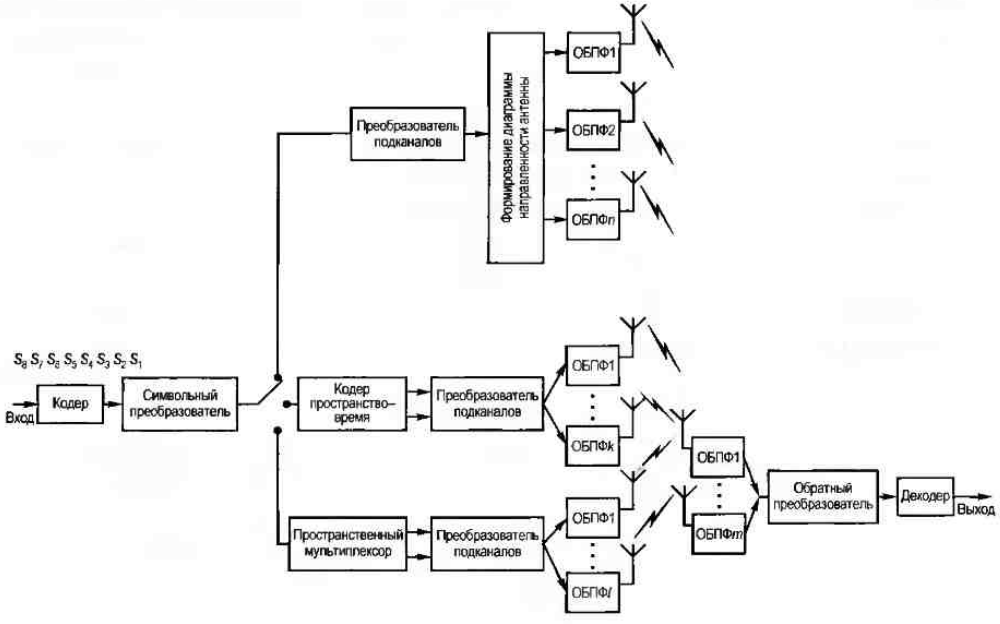


Рис. 4.10. Адаптивный переключатель интеллектуальной антенны

Пространственное мультиплексирование улучшает пиковую (при наилучших условиях состояния канала) пропускную способность.

Когда канал находится в плохом состоянии, вероятность ошибки на пакет (PER — Packet Error Rate) высока, и поэтому ограничена зона покрытия, где

ZP

может быть выдержано расчетное значение PER. Пространственное мультиплексирование (SM) и коды «пространство–время» (STC) [55] обеспечивают значительный охват независимо от состояния канала, но не улучшают пиковую скорость данных.

Мобильный WiMAX допускает адаптивное переключение между множеством режимов с несколькими антеннами (MIMO) для того, чтобы максимизировать спектральную эффективность без сокращения зоны покрытия.

Табл. 4.9 показывает теоретические пиковые скорости данных для различных соотношений скоростей между направлениями «вниз» и «вверх» в предположении, что канал имеет полосу 10 МГц, 5-миллисекундные кадры содержат 44 символа (из общего количества 48 OFDMA-символов). В верхней строке таблицы показаны отношения распределения ресурсов «вниз» и «вверх» (DL/UL). Например, соотношение 1:0 показывает случай, когда сообщение направлено только «вниз» (от базовой станции к мобильной).

Таблица 4.9. Скорость передачи данных для конфигураций MIMO и SIMO

DL/UL			1:0	3:1	2:1	3:2	1:1	0:1
Пользовательская пиковая скорость, Мбит/с	1×2 SIMO	DL	31,68	23,04	20,16	18,72	15,84	0
		UL	0	4,03	5,04	6,05	7,06	14,11
	2×2 MIMO	DL	63,36	46,08	40,32	37,44	31,64	0
		UL	0	4,03	5,04	6,05	7,06	14,11
Секторная пиковая скорость, Мбит/с	1×2 SIMO	DL	31,68	23,04	20,16	18,72	15,84	0
		UL	0	4,03	5,04	6,05	7,06	14,11
	2×2 MIMO	DL	63,36	46,08	40,32	37,44	31,64	0
		UL	0	8,06	10,08	12,10	14,12	28,22

MIMO — Multiple-Input, Multiple-Output — система со многими входами и многими выходами; SIMO — Single-Input, Multiple-Output — система с одним входом и меногими выходами.

Образование каналов проводится по принципу частичного использования поднесущих PUSC. При использовании режима с несколькими антеннами 2×2 MIMO в направлении «вниз» пиковая скорость теоретически удваивается. Максимальная пиковая скорость данных по направлению «вниз» — 63,36 Мбит/с. При совместном пространственном мультиплексировании по направлению «вверх» пиковая общая скорость от объединенного устройства (секторная скорость) удваивается, в то время как скорость передачи от каждого пользователя остается неизменной. Пользовательская пиковая скорость передачи данных и секторная пиковая скорость по направлению «вверх» равны соответственно 14,11 Мбит/с и 28,22 Мбит/с. Применяя различные соотношения скоростей DL/UL по направлениям, можно адаптировать пропускную способность канала.

Можно отметить крайние случаи использования канала только по направлению «вверх» или только по направлению «вниз», но они редки.

Профиль WiMAX определяет отношение DL/UL в пределах от 3:1 до 1:1 для различных типов трафика. Применяемые пиковые скорости передачи данных вероятнее всего будут находиться между этими двумя крайними случаями. Пиковая скорость часто используется для описания емкости канала и хороша для сравнительных целей. Однако нужно отметить, что практически достижимые пиковые скорости данных могут быть ниже. Это зависит от заданного типа трафика, условий распространения и интерференции.

Варианты разнесения

Для борьбы с замираниями физический уровень OFDMA с помощью адаптивного набора антенн обеспечивает различные варианты разнесения по различным путям следования (второго и четвертого порядка), т.е. организацию нескольких каналов (двух, четырех и т. д.) для передачи и приема одной и той же информации.

Передача информации по нескольким антеннам позволяет увеличить зону покрытия и пропускную способность системы. При этом она сводит к минимуму перерывы в работе системы связи, благодаря формированию диаграммы направленности лучей и нулевому перекрытию передаваемых сигналов.

Варианты разнесения включают набор методов, основанных на разнесении второго и четвертого порядков в направлении «вниз», разнесении второго порядка в направлении «вверх», которые могут гибко варьироваться в зависимости от требуемой емкости и зоны покрытия. Набор методов может включать в себя алгоритмы с применением и без применения обратной связи. Физический уровень OFDMA осуществляет также пространственное мультиплексирование, обеспечивающее максимальное использование спектра.

Усовершенствованная система антенн

Физический уровень OFDMA обеспечивает варианты алгоритмов управления адаптивной антенной системой: сканирование массива распределения (diversity-map scan) и метод прямой сигнализации (direct signaling method). Сканирование массива распределения поддерживает все методы распределения поднесущих (с полным использованием поднесущих — FUSC, с частичным использованием поднесущих — PUSC, смежную перестановку поднесущих частот). Метод прямой сигнализации обеспечивает регулировку разделения несущих на поднесущие с помощью сигналов управления.

Рассмотрим метод сканирования массива распределения при применении разделения поднесущих путем смежных перестановок. На рис. 4.11 показана

зона массива распределения адаптивной антенной системы (AAS) для подкадра, передаваемого в направлении «вниз». В этом подкадре образуются секции для обмена без использования AAS (non-AAS) и для обмена с использованием AAS. В первых трех подканалах содержится служебная информация, характеризующая всю данную зону антенной системы. В подканалах с номерами 4 и *N*-4 (где *N* — последний логический канал предыдущего пакета) размещается массив распределения адаптивной антенной системы. Для передачи этой информации выделяются специальные подканалы. Для метода распределения поднесущих PUSC/FUSC выделяются старшие каналы. Для методов смежной перестановки — четвертый канал от начала и четвертый от конца.

На рис. 4.11 показана конфигурация с четырьмя антеннами. Каждый из показанных форматов передается в сообщениях, которые содержат преамбулу зоны антенной системы и карту распределения, повторенную четыре раза для того, чтобы обеспечить четыре группы распределения поднесущих (четыре антенны).

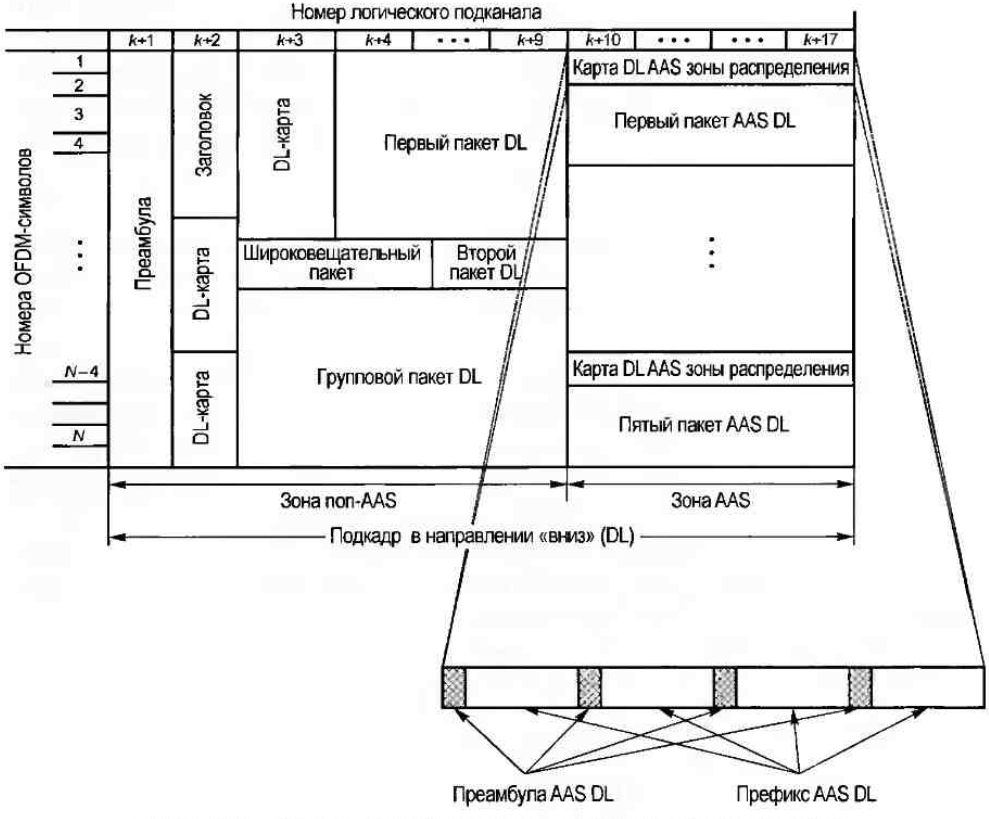


Рис. 4.11. Зоны антенной системы и карта ее распределения

В части формата, которая передает информацию зоны адаптивной антенной системы (префикс), содержится местоположение базовой станции, используемое при выделении полосы для абонентской станции. В режиме дуплексной передачи с временным разделением (TDD) базовая станция может извлечь информацию, которая обеспечивает формирование диаграммы направленности луча антенны для ответного сообщения на запрос абонентской станции об инициализации вызова и выделении полосы. В режиме дуплексной связи с частотным разделением (FDD) это осуществляется с помощью сообщений обратного запроса абонентской станции и ответа на запрос. Ответное сообщение содержит: индикатор напряженности поля полученного сигнала, данные об интерференции вместе со значением отношения сигнал/шум. Эта информация передается от абонентской станции к базовой.

При использовании метода прямой сигнализации по специально выделенным подканалам доступа и распределения полосы частот BWAA (Bandwidth Allocation/Access) передается информация, содержащаяся в UL- и DL-картах. В этом методе предусмотрены четыре специальных кодовых сообщения: проверка (тренировка) обратного соединения RLT (Reverse Link Training), доступ при обратном соединении RLA (Reverse Link Access), проверка (тренировка) прямого соединения FLT (Forward Link Training) и инициирование прямого соединения FLI (Forward Link Initiation). Первые два сообщения использует абонентская станция (MS), вторые два — базовая станция (BS). Для начальной инициализации или запроса полосы первая посылает сообщение RLA в канал BWAA. Оно предшествует сообщениям запроса полосы или начального доступа и используется базовой станцией для точной настройки своей антенной системы на данную абонентскую станцию. В ответ BS передает сообщение FLI — уникальный код для каждой MS (BS может сама инициировать соединение, послав FLI). Последнее сообщение транслируется в подканале, выделенном для данной MS. Каждая абонентская станция сканирует все подканалы и, обнаружив по кодовой последовательности адресованное ей сообщение начальной инициализации, отправляет в ответ в том же самом канале (в отведенном для нее временном интервале) последовательность RLT, предназначенную для точной настройки антенн BS на MS в данном подканале. В результате, выполнив все необходимые подстройки, BS и MS устанавливают соединение, в течение которого происходит обмен данными. Причем пакетам данных предшествуют тренировочные последовательности: FLT — со стороны BS и RLT — со стороны MS.

Передача информации с разнесением

OFDMA обеспечивает разнесение четвертого порядка по направлению «вниз» и второго порядка (по двум антеннам) по направлению «вверх». В ос-

нову разнесения положен принцип пространственно-временного кодирования STC (Space Time Coding) и код со скачкообразной перестройкой частоты FHDC (Frequency Hopping Diversity Cording).

Стандарт не определяет число используемых антенн, поэтому не устанавливает методы указанного выше кодирования. Однако пространственное кодирование в настоящее время основано на алгоритме Аламоути (S.M. Alamouti) [55]. Этот алгоритм предназначен для передачи потоков сигналов по двум антеннам. Он исходит из того, что потоки передаются попеременно по каждой из антенн. Порядок передачи определяется двумерной матрицей (i, j), где i — номер антенны, j — номер потока сигналов. Для того, чтобы не было интерференции между этими потоками, каждый из них преобразуется следующим образом — на приемном конце одноименные потоки, полученные по разным антеннам, складываются с применением весовых коэффициентов, соответствующих текущему качеству каждой составляющей. Для преобразований более четвертого порядка аналогично применяются матрицы и преобразования соответствующего порядка.

Механизм кода со скачкообразной перестройкой частоты заключается в том, что при переходе к другой антенне поток может быть передан по другому пути со сменой набора поднесущих. При этом используется информация, заложенная в матрицу.

4.5.2. Частичное повторное использование частоты

Для того, чтобы максимально использовать спектр, мобильный WiMAX допускает повторное использование частоты, то есть работу нескольких сот на одной и той же частоте. Однако, следует отметить, что такой режим может привести к большой межканальной интерференции, особенно на краях сот.

Пользователи мобильного WiMAX могут работать по подканалам, которые занимают небольшую долю всей полосы пропускания канала. Базовая станция соты, у которой возникают проблемы пограничной межканальной интерференции, может реконфигурировать подканал. Поэтому при проектировании сот можно не применять традиционное планирование частоты.

В мобильном WiMAX гибкое повторное использование подканала облегчается принципами образования подканала — сегментацией и перестановкой поднесущих, рассмотренными раннее.

Кадры «вниз» или «вверх» внутри соты могут применяться более чем в одном типе зоны переключения, как показано на рис. 4.12, и работа происходит со всеми доступными подканалами, в то время как пользователи на краю соты работают только с частью доступных подканалов.

На рис. 4.12 F1, F2, и F3 представляют собой различные наборы подканалов в одном и том же диапазоне частот. При такой конфигурации обеспечивается полное использование спектра для пользователей, находящихся в центре соты (центры указаны темным цветом), и частичное использование спектра — для пользователей, находящихся на краю соты (более светлый цвет). Повторное использование подканалов может планироваться и динамически оптимизироваться по всей соте или по секторам в соответствии с нагрузкой или интерференцией.

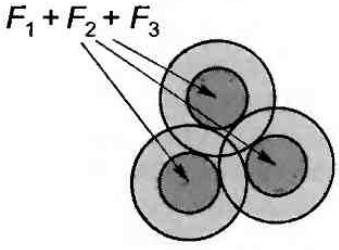


Рис. 4.12. Частичное повторное использование частот

4.5.3. Групповая доставка и широковещательное обслуживание

Групповая доставка и широковещательное обслуживание MBS (Multicast and Broadcast Service), предоставляемые мобильным WiMAX, удовлетворяют следующим требованиям:

- высокая скорость передачи данных, обширная зона покрытия, реализуемые в сети с одной несущей частотой (SFN — Single-Frequency Network);
- гибкое распределение радиоресурсов;
- низкое потребление мощности;
- доставка данных в дополнение к видео- и аудиоинформации;
- малое время переключения каналов.

Профиль WiMAX определяет способы начальной установки служб MBS. Последние могут быть организованы в рамках служб, предназначенных для однонаправленных соединений, и включаться в кадры по направлению «вниз», или могут быть организованы специализированные кадры для этих служб. Рис. 4.13 показывает кадр зон MBS, который поддерживает однонаправленную широковещательную и групповые службы по обоим направлениям (DL/UL).

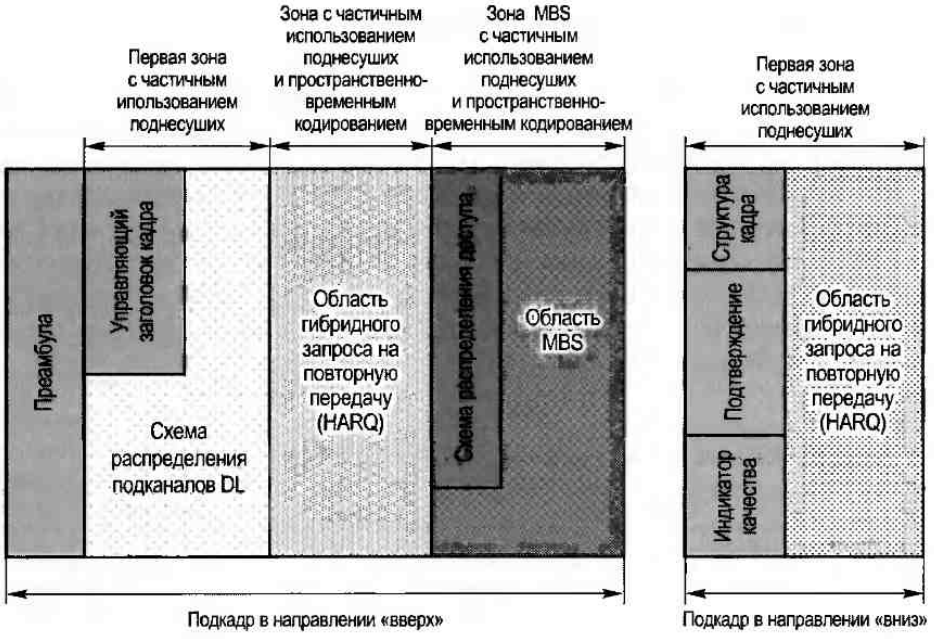


Рис. 4.13. Отображение MBS, встроенных в мобильном WiMAX

Информационная зона MBS предназначена для поддержки однонаправленных широковещательных и групповых служб нескольких базовых станций с использованием единственной частоты SFN (Single Frequency Network). Эта структура обеспечивает гибкий размер зон MBS-кадра, позволяя таким образом наращивать радиоресурсы для MBS в соответствии с трафиком. Отметим, что возможно создание нескольких зон MBS.

Имеется один дескриптор (описатель) размещения информационных элементов (IE) в зоне MBS — это преамбула. Мобильная станция получает доступ к протоколу доступа для того, чтобы определить зоны MBS и местоположение связанных списков объектов в каждой зоне, согласно протоколу доступа. Эта мобильная станция может затем последовательно читать списки и устанавливать соединения. Информационный элемент зоны определяет физическую конфигурацию и местоположение каждой зоны, указывая параметры поднесущих OFDMA.

Область гибридного автоматического запроса на повторную передачу (HARQ — Hybrid Automatic Repeat reQest) обеспечивает функционирование, когда блоки данных передаются по нескольким каналам. В этом случае при искажении информации, передаваемой по первому каналу, она передается по другому каналу. Смена каналов осуществляется планировщиком.

4.6. Параметры мобильного WiMAX

Поскольку мобильный WiMAX основан на наращиваемом OFDMA, он может гибко создавать конфигурации, приспособленные для работы с системами, имеющими различные пропускные способности, благодаря настройке системных параметров. Приводимые ниже данные можно рассматривать как некоторый пример для оценки рабочих характеристик. Приведенные ниже таблицы содержат следующие сведения: табл. 4.10 — рабочие характеристики системы, табл. 4.11 — параметры OFDMA, табл. 4.12 отражает данные, касающиеся модели распространения радиосигналов, применяемой для оценки параметров мобильного WiMAX [103].

Таблица 4.10. Рабочие характеристики мобильного WiMAX

Параметр	Значение
Число 3-секторных сот	19
Рабочая частота, МГц	2500
Дуплекс (дуплексная передача с временным разделением)	TDD
Ширина полосы канала, МГц	10
Расстояние «базовая станция–базовая станция», км	28
Минимальное расстояние от мобильной станции до базовой, м	36
Модель антенны	70° (–3 дБ) с отношением «вперед – назад» 20 дБ
Высота антенны базовой станции, м	32
Высота антенны терминала мобильной станции, м	1,5
Коэффициент усиления антенны базовой станции, дБ	15
Коэффициент усиления антенны мобильной станции, дБ	–1
Максимальная мощность усилителя базовой станции, дБ	43
Максимальная мощность усилителя терминала мобильной станции, дБ	23
Приемные и передающие антенны базовой станции	2 или 4 приемных антенны 2 или 4 передающих антенны
Приемные и передающие антенны мобильной станции	1 передающая антенна 2 приемные антенны
Коэффициент шума базовой станции, дБ	4
Коэффициент шума мобильной станции, дБ	7

Таблица 4.11. Параметры OFDMA

Параметр		Значение
Системная полоса канала, Мгц		10
Частота дискретизации ($F\varphi$), МГц		11,2
Размер преобразования Фурье (N_{FFT})		1024
Разнос частот поднесущих, кГц		10,94
Полезное время символа ($T_b = 1/f$), мкс		91,4
Защитное время ($T_g = T_b/8$), мкс		11,4
Продолжительность OFDMA-символа ($T_s = T_b + T_g$), мкс		102,9
Длительность кадра, мс		5
Число символов в кадре		48
Частичное использование поднесущих. Направление «вниз». Число	Нулевые поднесущие	184
	Поднесущие пилот-сигнала	120
	Поднесущие данных	720
	Подканалы	30
Частичное использование поднесущих. Направление «вверх». Число	Нулевые поднесущие	184
	Поднесущие пилот-сигнала	280
	Поднесущие данных	560
	Подканалы	35

Таблица 4.12. Модель распространения

Параметр	Значение
Модель распространения	COST 231 Suburban
Отклонение замирания по нормальному закону, дБ	8
Взаимная корреляция замираний между базовыми станциями	0,5
Потери на распространение, дБ	10
COST — Cooperation in field Of Scientific and Technical research (Европейское сотрудничество в области научно-технических исследований). COST 231 Suburban — математическая модель распространения радиосигналов [63].	

4.7. Архитектура мобильного WiMAX

В стандарте IEEE 802.16e определены два уровня: физический и доступа к среде (MAC-уровень). Такой подход удовлетворял технологии беспроводных сетей Ethernet, которые использовали протоколы Рабочей группы по инжинирингу Интернета (IETF — Internet Engineering Task Force), в частности, протоколы TCP/IP, SIP, VoIP. В части беспроводной связи используются другие

протоколы, например, набор протоколов 3GPP, поддерживающий широкий перечень интерфейсов и протоколов. Последние касаются не только радиотракта, но также взаимодействия сетей, оборудования различных производителей для осуществления роуминга и взаимных расчетов между компаниями, предоставляющими услуги беспроводной связи. Производители, осознав эти потребности, сформировали дополнительные рабочие группы для разработки стандартов сети и эталонных моделей для открытых межсетевых интерфейсов. Две из них сосредоточились на исследовании вопросов создания спецификаций для разработки сетей, использующих различные виды доступа [4]:

– фиксированный (fixed access);
– сеансовый (nomadic access);
– в режиме транспортировки (portable access);
– упрощенный мобильный (simple mobile access);
– полнофункциональный (full mobile access).

Как указывалось, первые два вида доступа подразумевают, что пользователь находится в фиксированной и ограниченной зоне. В первом случае он связывается с одной и той же базовой станцией. Во втором случае подразумевается, что пользователь может связываться с различными базовыми станциями, но оставаться в этой зоне на время сеанса.

Доступ во время транспортировки допускает перемещение с ограниченной скоростью в пределах ограниченного числа зон перемещения в каждом местоположении. При этом возможно ограничение видов сервиса, предоставляемых непрерывно при перемещении.

При упрощенном и полнофункциональном мобильном видах доступа пользователь может перемещаться по всем сотам сети с высокой скоростью. Упрощенный мобильный доступ при этом гарантирует непрерывность для некоторого набора услуг, а полнофункциональный мобильный доступ обеспечивает это для всех видов услуг.

Рабочие группы WiMAX Forum — Network Working Group (Сетевая рабочая группа) и Service Provider Working Group (Рабочая группа поставщиков услуг), определили требования и расставили приоритеты по разработке стандартов сети.

Архитектура мобильного WiMAX основана на платформе All-IP (Все-IP). Принятая технология основана на передаче и коммутации пакетов без использования каналов традиционной телефонии. Такой подход предполагает, что будут уменьшены затраты на всех этапах «жизненного цикла» (проектирование, развертывание и эксплуатация) сети. Использование принципа All-IP означает, что общее ядро сети может не поддерживать обе известные технологии коммутации. Дальнейшие преимущества принципа All-IP основаны на прогнозах роста сети по закону Мура, согласно которому развитие тех-

нологий обработки информации на основе компьютерных систем идет быстрее, чем средств телекоммуникаций, что происходит из-за того, что обработка информации не ограничена установкой и модернизацией аппаратуры, как это имеет место в сетях с коммутацией каналов. Выбор принципа пакетной коммутации предполагает низкую стоимость, высокую степень наращиваемости, быстрое развитие функциональных возможностей, т.е. все преимущества систем, основанных на использовании программного обеспечения.

Для того, чтобы успешно развивать коммерческие системы, были разработаны спецификации физического уровня и уровня доступа к среде (IEEE 802.16 — PHY/MAC) для радиоинтерфейса. Они обеспечивают поддержку базовой сетью набора необходимых функций за счет системной архитектуры. Прежде чем вдаваться в детали архитектуры мобильного WiMAX рассмотрим несколько **основных принципов**:

а) архитектура базируется на структуре, принятой в пакетной коммутации, и процедурах, основанных на стандарте IEEE 802.16 и его поправках в соответствии с документами IEFT и спецификациями Ethernet;

б) архитектура позволяет отделить систему доступа от услуг IP-связи;

в) модульность и гибкость архитектуры должна обеспечивать:

- создание сетей WiMAX различного масштаба с различным шагом их наращивания;
- использование радиосред распространения, которые работают в лицензированных или освобождаемых частотных диапазонах, для городских, пригородных и сельских районов;
- иерархические топологии с дополнительными узлами или без таковых;
- все пять видов доступа, упомянутых ранее.

Поддержка услуг и приложений. Архитектура обеспечивает поддержку:

а) речи, мультимедийных услуг и других принятых официальных услуг, таких, например, как экстренная помощь и законный перехват информации (система оперативно-розыскных мероприятий);

б) доступа к различным прикладным услугам поставщика, например к Интернету;

в) мобильной телефонной связи с использованием VoIP;

г) взаимодействия шлюзов, обеспечивающих доставку общепринятых услуг, передаваемых через IP (службы коротких сообщений SMS, службы доступа к приложениям беспроводной связи WAP) к сети WiMAX;

д) групповой и широковещательной доставки пакетной информации по IP-протоколу через сеть WiMAX.

Взаимодействие и роуминг. Это также ключевые моменты архитектуры сети мобильного WiMAX, поддерживающего множество сценариев. В частности будут поддерживаться:

а) произвольная архитектура взаимодействия с существующими беспроводными сетями, такими как 3GPP, а также такими как DSL и MSO (мультисервисный оператор, имеющий возможность совмещать услуги телефонии, мультимедиа, кабельного телевидения и т.п.), системами, базирующимися на наборе протоколов Интернет;

б) глобальный роуминг между операторами WiMAX, включая обеспечение повторного использования частот, последовательного использования системы аутентификации, установления подлинности и ведения учета (AAA — Authentication, Authorization and Accounting), составления индивидуальных и общих счетов и урегулирования претензий;

в) использование различных платежных механизмов, таких как сообщение имени и пароля пользователя, цифровая подпись, модуль абонентской идентификации (SIM), универсальный модуль SIM (USIM) и сменный модуль идентификации пользователя (RUIM — Removable User Identify Module).

Участники WiMAX Forum определили эталонную модель сети WiMAX — NRM (Network Reference Model), которая представляет собой логическую архитектуру сети. NRM определяет функциональные объекты и эталонные точки, через которые взаимодействуют между собой эти функциональные объекты. Архитектура разработана с целью унификации поддержки, необходимой для всего периода развития сети (например, от фиксированной сети к сеансовой — транспортирующей — простой мобильной и далее к полнофункциональной мобильной сети).

Рис. 4.14 иллюстрирует NRM, состоящую из следующих логических объектов: мобильная станция (MS), сеть доступа к услугам (ASN — Access Service Network), сеть взаимодействия с услугой (CSN — Connectivity Service Network) и выделенные эталонные точки для взаимодействия между логическими объектами. Рис. 4.14 дает ключевые нормативные точки R1…R5. Каждый объект представляет собой группу других функциональных объектов, которые могут быть реализованы отдельным физическим устройством или распределены по многим физическим устройствам.

Группирование и распределение функций по физическим устройствам функциональных объектов (таких как ASN) упрощает выбор способа их реализации. Изготовитель может выбрать любую физическую реализацию функций: индивидуальную, комбинированную, удовлетворяющую функциональным требованиям и требованиям по взаимодействию.

Цель эталонной модели NRM состоит в том, чтобы обеспечить множество путей реализации функциональных объектов и достичь взаимодействия между их различными реализациями. Взаимодействие основано на определении протоколов связи и реализации процессов обмена между функциональными объектами таким образом, чтобы достичь выполнения функций в полном объеме, например, обеспечения безопасности или управления и администрирования.

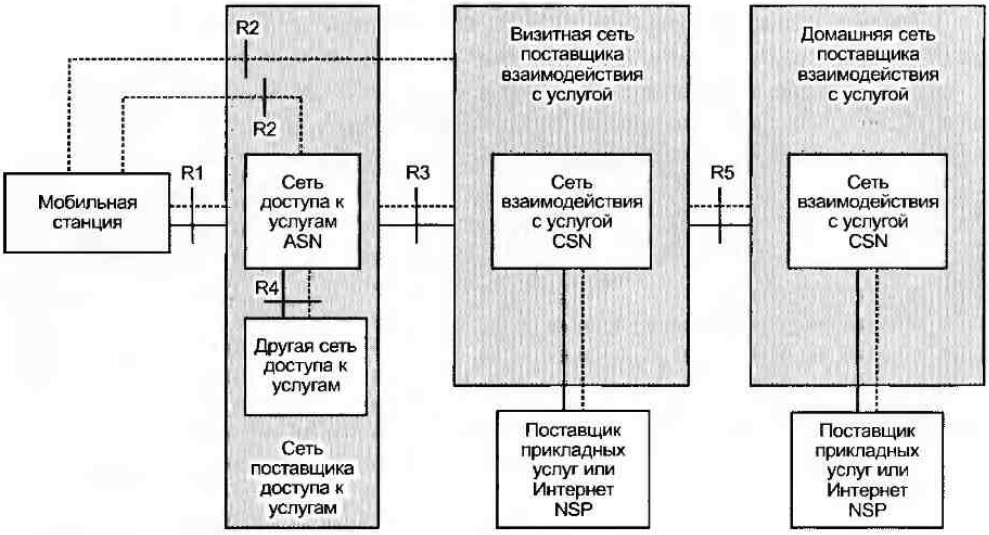


Рис. 4.14. Эталонная модель WiMAX:
—— физическая связь; ····· логическая связь

Таким образом, эталонная модель является набором функций управления и средств их выполнения.

Логический объект «сеть доступа к услугам (ASN)» определяет логическую границу и предоставляет удобный способ описания совокупности функциональных объектов, объединенных единой задачей, и соответствующих потоков сообщений, связанных с выполнением услуг доступа.

ASN представляет собой границу функционального взаимодействия WiMAX с клиентом, она поддерживает возможности взаимодействия WiMAX по выполнению функций сервиса и объединения функций, реализованных разными производителями. Отображение функциональных объектов в логические сети доступа к услугам (ASN) может быть выполнено различными способами.

WiMAX Forum в процессе разработки спецификаций заложил принципы, которые предоставляют возможность производителям использовать самые разнообразные пути по их выполнению.

Сеть взаимодействия с услугой CSN определена как набор функций, которые обеспечивают взаимодействие абонента (ов) WiMAX с услугой через IP. Она может содержать такие сетевые элементы, как маршрутизаторы, средства опознавания, аутентификации и учета стоимости, базы пользовательских данных и шлюзы взаимодействия. Она может быть реализована как часть сети поставщика прикладных услуг (NSP — Network Service Provider).

Сетевые спецификации для систем, основанных на WiMAX, базируются на принципах архитектуры, перечисленных ниже:

а) логическое разделение между процедурами с адресацией IP и процедурами маршрутизации, управления и взаимодействия, а также соответствующими протоколами, что позволяет использовать примитивы (программных модулей), как автономно, так и во взаимодействии с окружением;

б) поддержка совместного использования ASN-сети одним поставщиком услуг доступа NAP (Network Access Provider) для множества поставщиков услуг NSP;

в) поддержка одной сети взаимодействия с услугами CSN для управления многими сетями доступа к услугам ASN;

г) поддержка средств обнаружения и выбора мобильной станцией или станцией обслуживания одного из доступных поставщиков услуг;

д) поддержка доступа к назначенному сервису с помощью функций взаимодействия;

е) спецификация определенных эталонных точек, расположенных между различными группами сетевых функциональных объектов (между ASN, между ASN и CSN, между CSN и, в особенности, между MS, ASN и CSN), для того, чтобы обеспечить взаимодействие аппаратуры различных производителей;

ж) поддержка взаимодействия между различными моделями использования, обеспечивающая разумные технические ограничения;

з) предоставление различным производителям возможности реализации аппаратуры с использованием сочетания различных программных и аппаратных средств;

и) поддержка некоторых частных сценариев отдельных операторов, разработанных для сети доступа с ограниченными услугами базовой сети, например, основные услуги Интернета без роуминга.

Рис. 4.15 отражает несколько объектов в пределах сети доступа к услугам и их функциональную группировку, места протоколов и эталонных точек, как это определено в спецификациях.

Архитектура WIMAX позволяет обеспечить IP- и Ethernet-услуги в мобильном варианте. Для того, чтобы гибко и согласовано поддерживать работу операторов, использующих аппаратуру разных изготовителей, WiMAX-сети имеют свойства, рассмотренные ниже.

Безопасность

Архитектура сети WiMAX базируется в части безопасности на учете следующих параметров: типа оператора, топологии сети. Она реализует различные сценарии, в частности, поддерживает:

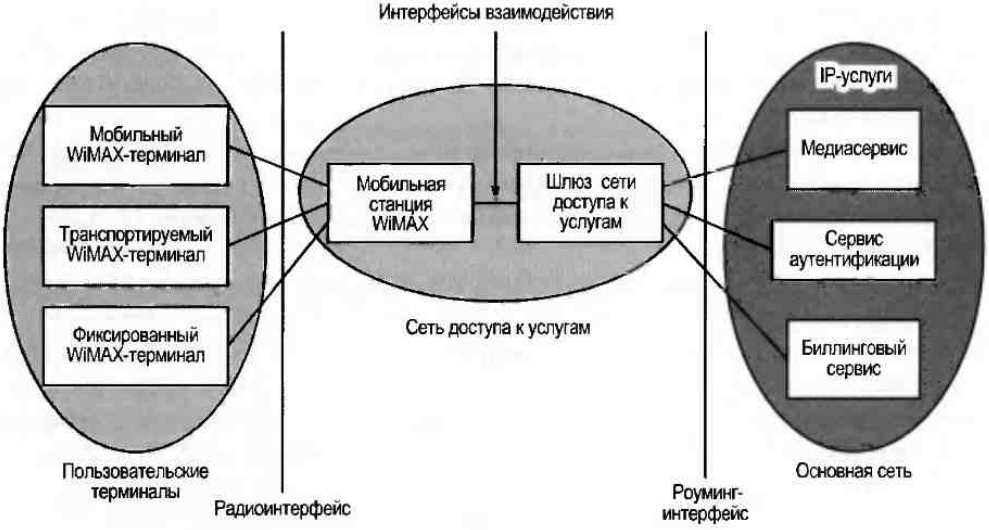


Рис. 4.15. Архитектура мобильного WiMAX на основе IP:
— компоненты WiMAX; — компоненты основной сети

а) строгое соответствие процедур аутентификации оборудования между мобильной станцией и сетью WiMAX, базируясь на стандарте IEEE 802.16e в части безопасности;

б) все механизмы аутентификации в домашней и визитной сетях, которые базируются на последовательных и расширяемых процедурах аутентификации;

г) механизмы безопасности, обеспечивающие сохранение целостности данных, конфиденциальность, обнаружение несогласованности используемых ключей;

д) использование мобильной станцией таких механизмов, как инициирование или закрепление за терминалами дополнительных возможностей путем организации, например, виртуальной частной сети (VPN);

е) стандарт, обеспечивающий механизм управления IP-адресами между мобильной станцией (станцией услуги) и визитной или домашней сетью поставщика услуг.

Мобильность и передача вызова (хэндовер)

Архитектура сети WiMAX реализует множество возможностей мобильности и хэндовера. Она предполагает поддержку:

а) передачи вызова сетям с различными технологиями — WiFi, 3GPP, xDSL или MSO (Multi Service Operator), если мобильная станция допускает работу в нескольких режимах;

б) различных версий протокола IP (IPv4 или IPv6), связанных с беспроводным доступом; в пределах такой архитектуры должна быть встроена система, снабжающая мобильную станцию IP-адресами для обеих версий протокола (IPv4 и IPv6);

в) роуминга при передачи соединения между сетями поставщиков услуг;

г) использования механизмов плавного хэндовера для быстро передвигающихся средств и во время пользования некоторыми услугами;

д) следующих услуг:

– возможности динамического изменения конфигурации домашнего адреса абонента;
– динамического назначения домашнего агента (промежуточного устройства с адресом и возможностью реализации некоторых услуг, не предоставляемых центральными средствами); это назначение обеспечивает оптимизацию маршрутизации и регулирования нагрузки;
– назначения домашнего агента по административным соображениям (например, по совместным или лимитированным расчетам).

Расширение и наращиваемость, выбор зоны покрытия и оператора

Архитектура мобильного WiMAX имеет широкие возможности для расширения и наращивания, а также обеспечивает гибкость в выборе оператора. В частности предполагается:

а) простое изменение параметров при проектировании сетей доступа к услугам и основной сети, как в сторону увеличения, так и уменьшения; это касается зоны покрытия и емкости системы;

б) возможность приспособления к любой топологии: индивидуальной («сними трубку и говори»), иерархической и/или соединений со многим промежуточными узлами;

в) обеспечение работы с различными ретрансляционными линиями, проводными и беспроводными, имеющими различные временные задержки и пропускную способность;

г) поддержка развития инфраструктуры;

д) поддержка поэтапного внедрения IP-услуг, которые должны наращиваться в соответствии с возрастанием числа активных пользователей и числа услуг, используемых каждым абонентом;

е) поддержка наращивания числа базовых станций и их ввода в сетях различной емкости и зоны покрытия, например, пико- и макросотовых.

ж) поддержка декомпозиции и интеграции функций доступа сети взаимодействия с услугой CSN при разработке и по заявкам пользователей для соз-

дания схем баланса нагрузки и эффективности использования спектра и сетевых ресурсов.

Способность к взаимодействию оборудования различных производителей

Другой важный аспект архитектуры сети мобильного WiMAX — поддержка взаимодействия оборудования различных изготовителей при реализации функций сети доступа. Такое взаимодействие должно включать:

а) транзит через BS к оборудованию другого поставщика, выполняющему функции доступа к сети;

б) применение различных элементов для реализации функций сети доступа (возможно различных изготовителей) и основной сети с минимальным ухудшением или без него, как в части выполняемых функций, так и по пропускной способности.

Стандарт IEEE 802.16e определяет несколько подуровней конвергенции. Архитектура сети мобильного WiMAX поддерживает различные типы сетей и версии протоколов (Ethernet, IPv4 и IPv6).

Качество обслуживания

Мобильный WiMAX включает средства для поддержки различных механизмов обеспечения качества обслуживания. В частности, предоставляется возможность гибкой поддержки (с изменением соотношения объема трафика и предоставляемых услуг) одновременной работы, различные наборы IP-услуг.

Архитектура поддерживает:

а) дифференцированные уровни качества обслуживания — грубую настройку на заданное качество работы для пользователя и тонкую настройку для потока услуг пользователя;

б) управление доступом;

в) управление полосой пропускания;

г) реализацию политики операторов, основанной на их соглашении о гарантированном уровне обслуживания (SLA — Service Level Agreement); она включает политику по отношению к отдельным пользователям, группам пользователей, а также учет таких факторов, как местоположение, время дня и т.п.

Для управления политикой взаимодействия между операторами широко используются стандарты, действующие в отношении Интернета. Конфигурации сети доступа к услугам определены профилями, включающими распределенную и централизованную архитектуру. Кроме того, WiMAX Forum определяет взаимодействие как внутри сетей доступа, так и между сетями доступа, выполненными на оборудовании различных производителей.

Глоссарий

Ниже в строках *курсивом* обозначены понятия, которые разъясняются в других строках глоссария.

A_{bis} интерфейс. Интерфейс в *системе GSM* между *контроллером базовой станции — BSC* и *базовой приемопередающей станцией — BTS*. Предназначен для процессов установления соединений и управления оборудованием. Передача осуществляется цифровыми потоками 2,048 Мбит/с. Возможно использование физического интерфейса 64 кбит/с.

A-интерфейс. Интерфейс в *системе GSM* между *центром коммутации мобильной связи — MSC и системой базовых станций — BSS* (*подсистема базовых станций — BSC+BTC*), обеспечивает передачу сообщений для управления *BSS*, передачу вызова (хэндовер), управление при изменении местоположения.

B-интерфейс. Интерфейс в *системе GSM* между *MSC* и *визитным регистром местоположения VLR*.

C-интерфейс. Интерфейс в *системе GSM* между *MSC* и *домашним регистром местоположения HLR*.

D-интерфейс. Интерфейс в *системе GSM* между *домашним регистром местоположения HLR* и *визитным регистром местоположения VLR*. Используется для расширения обмена данными о положении подвижной станции, управления процессом связи.

E-интерфейс. Интерфейс в *системе GSM* между *MSC*. Обеспечивает взаимодействие между разными *MSC* при осуществлении процедуры *хэндовера*.

M-интерфейс. Внутренний интерфейс *контроллера базовой станции* в *системе GSM*. Обеспечивает связь между различным оборудованием *BSC* и оборудованием *транскодирования* (*TCE*).

O-интерфейс. Интерфейс в *системе GSM* между *контроллерами базовой станции BSC* и *центром эксплуатации и технического обслуживания OMC*. Используется в сетях пакетной коммутации, использующих *протокол X.25*.

RAKE-receiver — приемник, который получает сигналы по нескольким путям и суммирует эти сигналы с соответствующими весовыми коэффициентами.

Um-радиоинтерфейс. Интерфейс в *системе GSM* между *мобильной станцией MS* и *базовой приемопередающей станцией BTS*.

X-интерфейс. Сетевой интерфейс в *системе GSM* между *центрами эксплуатации и технического обслуживания OMC* разных сетей и обслуживаемой сетью, так называемый управляющий интерфейс между *OMC* и элементами сети.

A

Автоматическая идентификация (опознавание) номера (АОН) вызывающего абонента (Automatic Number Identification — ANI) — процесс, позволяющий вызываемому абоненту или станции определить номер вызывающего абонента.

Автономный выделенный канал управления (SDCCH — Stand-alone Dedicated Control Channel) — канал, соединяющий *MS* и *BTS*, предназначен для переда-

чи сигналов в процессе установления соединения до того момента, пока не будет найден *канал трафика* (*TCH*).

Административный центр (ADC — Administration Center) — сетевая служба, ответственная за организацию связи, административное управление сетью и соблюдение установленных правил доступа.

Алгоритм Витерби (Viterbi decoding) — декодирование, при котором вычисляется оценка наиболее вероятной выходной последовательности по методу максимального правдоподобия.

Алгоритм безопасности с применением хеширования (SHA — Secure Hash Algorithm) — алгоритм, который порождает *дайджест* постоянной величины из текста переменной длины.

Асинхронный режим передачи (ATM — Asynchronous Transfer Mode) — режим асинхронной передачи, который объединяет возможности двух технологий — *коммутации пакетов и каналов*.

Аутентификация (authentication) — проверка прав и полномочий вызывающего абонента

Б

Базовая приемопередающая станция (BTS — Base Transceiver Station) — стационарная станция, обеспечивающая передачу и прием радиосигналов, управление мощностью мобильных станций.

Базовая (основная) сеть (CN — Core Network) — подсистема мобильной связи, объединяющая коммутационное и сетевое оборудование.

Более мягкий хэндовер (softer handover) — хэндовер, при котором не требуется процедура повторного вхождения в синхронизм.

В

Видеотекс (videotex) — служба, обеспечивающая доступ удаленных пользователей к базам данных общего пользования.

Видеотекст (videotext) — интерактивная служба передачи видеоизображения для отображения на дисплей или экран телевизора.

Визитный регистр местоположения (VLR — Visit Location Register) — база данных сети мобильной связи, в которой хранится информации о перемещениях абонентов.

Вокодер — устройство, предназначенное для преобразования речевого сигнала в цифровой поток. Работа вокодера основана на анализе особенностей человеческой речи.

Временный идентификационный номер подвижного абонента (TMSI — Temporary Mobile Subscriber Identity) — номер, который присваивается *мобильной станции* при переходе из домашней сети в другую сеть на время обслуживания соединения в визитной зоне.

Временный роуминговый номер мобильной станции (MSRN — Mobile Station Roaming Number) — номер, который присваивается *мобильной станции* при пе-

реходе из домашней сети в другую сеть на время обслуживания соединения в визитной зоне роуминга.

Вторичный общий физический канал управления (SCCPCH — Secondary Common Control Physical Channel) — однонаправленный канал от станции *к оборудованию пользователя UE*. Этот канал доставляет информацию *канала прямого доступа* (*FACH*) *и канала широковещательного вызова* (*PCH*) с сообщениями для *UE*, которые зарегистрированы в сети.

Выделенные каналы управления (DCCH — Dedicated Control Channel) — группа каналов, которые предназначены, например, для обслуживания *роуминга*, изменения местоположения, передачи соединения (хэндовер), шифрования и т.д.

Г

Гауссова манипуляция с минимальным фазовым сдвигом (GMSK — Gaussian Minimum Shift Keying) — *вид манипуляции*, который отличается тем, что импульсы входной последовательности сглаживаются с помощью фильтра нижних частот и приводятся к форме гауссовой кривой.

Гибридный автоматический запрос на повторную передачу (HARQ — Hybrid Automatic Repeat Request) — режим передачи, который позволяет использовать *N* каналов в стартстопном режиме с поблочным повторением. При использовании этого метода после отправки кадра передатчик делает паузу, в течение которой ожидается прием подтверждения. В зависимости от типа подтверждения (положительное — ACK или отрицательное — NAK) источник передает следующий кадр или повторяет предыдущий.

Глобальная спутниковая навигационная система (GPS — Global Positioning Satellite) — система Министерства обороны США, предназначенная для определения местоположения и точного времени.

Глобальная система мобильной связи (GSM — Global System for Mobile communications) — система и стандарт сотовой системы связи, разработанный специальной группой Европейского института стандартов электросвязи (ETSI).

Группа активных сигналов (active set) — группа, которая содержит *пилот-сигналы*, связанные с каналами трафика, идущими от базовой станции (разделенными с помощью функций Уолша).

Группа кандидатов на пилот-сигнал (candidate set) — группа, которая содержит *пилот-сигналы*, которые в настоящее время не входят в активную группу. Однако эти пилот-сигналы имеет достаточную интенсивность, которая указывает на то, что связанные с ними *каналы прямого трафика* могут быть успешно использованы *мобильной станцией*.

Группа соседних пилот-сигналов (neighbor set) — группа, которая содержит соседние *пилот-сигналы*, которые в настоящее время не входят ни в активную группу, ни в группу *кандидатов на пилот-сигнал*, но их использование вероятно при хэндовере.

Группа управления мощностью (PCG — Power Control Group) — группа бит, которые указывают на необходимость увеличения или уменьшения мощности.

Д

Дайджест — сжатая и определенная по форме версия документа.

Длина кодового ограничения (constrain length) — величина, используемая при *сверточном кодировании*, которая указывает длину регистра сдвига, запоминающего поле входного потока.

Домашний регистр местоположения (HLR — Home Location Register) — база данных мобильной сети связи, в которой хранится информация о постоянно зарегистрированных в сети абонентах.

Доступ в режиме транспортировки (portable access) — один из видов организации радиосвязи, при котором допускается перемещение с ограниченной скоростью в пределах ограниченного числа зон. При этом возможно ограничение видов сервиса, предоставляемых непрерывно при перемещении.

Доступ мобильный полнофункциональный (full mobile access) — вид доступа, который обеспечивает пользователю возможность перемещаться по всем сотам сети с высокой скоростью. При этом гарантируется непрерывность для всего набора услуг.

Доступ сеансовый (nomadic access) — один из видов организации радиосвязи, при котором пользователь может устанавливать беспроводную связь с различными *базовыми станциями*, но должен оставаться в зоне одной станции на время сеанса.

Доступ упрощенный мобильный (simple mobile access) — один из видов организации радиосвязи, при котором пользователь может перемещаться по всем сотам сети с высокой скоростью, при этом гарантируется непрерывность только для некоторого набора услуг,

Доступ фиксированный (fixed access) — один из видов организации радиосвязи, при котором пользователь может устанавливать беспроводную связь только из одной зоны с одной *базовой станцией*.

Дуплексная передача с временны́м разделением каналов (TDD — Time Division Duplex) — двустороння передача цифровой информации на одной несущей частоте с уплотнением каналов приема и передачи в разных временных интервалах одного кадра.

Дуплексная передача с частотным разделением каналов (FDD — Frequency Division Duplex) — режим работы линии связи, при котором частоты передачи и приема находятся в разных частотных полосах.

Ж

Ждущий вызов — один из дополнительных видов обслуживания, когда входящий вызов по определенной причине (например, занятость абонента) ставится на ожидание до освобождения занятого абонента.

З

Закрытая группа пользователей (CUG — Closed User Group) — группа абонентов, в которой устанавливается соединение и происходит обмен информацией преимущественно в пределах этой группы.

Замирание (fade) — явление, при котором в течение определенного интервала времени происходит то постепенное усиление, то ослабление сигнала.

Запрет на вызов при входящей и исходящей связи (barring incoming or outgoing call) — дополнительная услуга, когда при использовании запрета на входящий вызов все входящие вызовы не поступают абоненту. Услуга может варьироваться в зависимости от типа связи (запрет на междугородную связь). При запрете на исходящей стороне ограничиваются вызовы.

Зона покрытия (coverage) — зона на земной поверхности, в пределах которой обеспечивается распространение радиоволн от передатчика к приемнику.

И

Индивидуальный секретный ключ шифрования/дешифрования (private key) — ключ шифрования, который может использоваться только парой устройств — передатчиком и приемником. При использовании общедоступных ключей индивидуальный ключ используется только приемником.

Интерфейс (interface) — совокупность аппаратных и программных средств, а также правил, обеспечивающих их сопряжение на физическом или логическом уровнях.

Интерфейс Uu — интерфейс в сети 3-его поколения UTRAN между *пользовательским оборудованием UE* и *приемопередающей станцией BTS*.

Интерфейс Iu — интерфейс в сети 3-его поколения UTRAN между *радиоконтроллером RNC и приемопередающей станцией BTS*.

Интерфейс Iub — интерфейс в сети 3-его поколения UTRAN между *радиоконтроллером RNC и центром коммутации мобильной связи MSC*.

Интерфейс Iur — интерфейс в сети 3-его поколения UTRAN между *радиоконтроллерами RNC*.

Интерфейс основной скорости (Basic Rate Interface — BRI) — интерфейс *цифровой сети с интеграцией служб (ISDN)*, который обеспечивает передачу двух каналов трафика (B-каналы) со скоростью 64 кбит/с и одного канала сигнализации (D-канала) со скоростью 16 кбит/с.

Интерфейс первичной скорости (Primary Rate Interface — PRI) — интерфейс *цифровой сети с интеграцией служб (ISDN)*, который обеспечивает скорость передачи 2,048 Мбит/с

К

Канал доступа (ACH — Access Channel) — канал, обеспечивающий связь подвижной станции с базовой, когда подвижная станция еще не использует *канал трафика*.

Канал индикации вхождения в синхронизм (AICH — Acquisition Indication Channel) — канал системы *UMTS*, который используется, чтобы сообщить *пользовательскому оборудованию UE* данные о канале данных (*DCH*), он может использоваться для того, чтобы связаться *с узлом B*.

Канал индикации вызова (PICH — Paging Indication Channel) — канал, который обеспечивает информацией *оборудование пользователя UE* в неактивном со-

стоянии и сохранность ресурсов батареи при слежении в этом режиме *за каналом вызова* (*Paging Channel*). PICH определяет момент дезактивации *UE*.

Канал индикации состояния CPCH (CSICH — CPCH Status Indication Channel) — канал, который применяется только по направлению от станции к *UE* для передачи состояния и может также использоваться для передачи излишней нагрузки при ее всплеске или прерывистом характере нагрузки.

Канал обнаружения конфликтов/Индикатор назначения канала (CD/CAICH Collision Detection/Channel Assignment Indication Channel) — канал *универсальной мобильной телекоммуникационной системы* (*UMTS*), используемый в направлении от станции *к UE* для того, чтобы указать, является ли канал активным или неактивным.

Канал обратного трафика (RTCH — Reverse Traffic Channel) — канал в системе CDMA для приема *базовой станцией* информации от мобильной; обеспечивает передачу речевых сообщений и управляющей информации от подвижной на *базовую станцию*.

Канал подстройки частоты (FCCH — Frequency Correction Channel) — канал связи от сети к *мобильной станции*, предназначенный для коррекции и передачи частоты *к MS*. Он также используется для вхождения в синхронизм.

Канал предоставления доступа (AGCH — Access Grant Channel) — исходящий канал только от сети *к MS*. *BTS* распределяет *каналы TCH или SDCCH* к мобильной станции, таким образом разрешая *MS* доступ к сети.

Канал прямого доступа (FACH — Forward Access Channel) — однонаправленный канал в системе *UMTS* от станции к абоненту, который передает данные или информацию *к UE*, зарегистрированному в системе. В соте может быть больше, чем один *FACH*.

Канал прямого трафика (FTCH — Forward Traffic Channel) — канал в системе *CDMA*, предназначенный для передачи речевых сообщений и данных, а также управляющей информации от *базовой станции* к мобильной. Передает любые пользовательские данные.

Канал (связи) с произвольным доступом (RACH — Random Control CHannel) — канал связи от абонента к станции. Этот канал передает запросы на обслуживание *от UE*, обращающегося к системе.

Канал синхронизации (SCH — Synchronizing Channel) — служебный канал в системе CDMA; обеспечивает поддержание уровня излучения *пилотного сигнала*, а также фазы *псевдослучайной последовательности* базовой станции.

Канал совместного использования «вниз» (DSCH — Downlink Shared Channel) — односторонний канал *UMTS* от станции к *оборудованию пользователя*. Этот канал может быть разделен между несколькими пользователями и используется для данных, которые являются «взрывными» по природе.

Канал трафика (TCH — Traffic Channel) — канал связи, работающий между *мобильной и базовой станциями*.

Канал управления (CCH — Control Channel) — канал, образуемый между двумя контроллерами радиосети для обмена управляющими сигналами при хэндовере и других процессах.

Канал управления произвольным доступом (RACCH — Random Access Control Channel) — канал, используемый при работе с системой *случайного доступа*.

Карта сетевого интерфейса (Network Interface Card — NIC) — электронное устройство, устанавливаемое внутри станции и содержащее схемы, котрые обеспечивают ее первоначальное подключение к сети.

Квадратурная фазовая манипуляция (QPSK — Quadrature Phase Shift Keying) — метод манипуляции, при котором каждой группе из двух бит (00,01,10,11) ставится в соответствие 4 значения фазы сигнала одной и той же частоты.

Квадратурно-амплитудная модуляция (КАМ-QAM — Quadrature Amplitude Modulation) — независимая амплитудная модуляция двух сигналов *квадратурного представления* с помощью одной и той же несущей.

Квадратурное представление сигнала (quadrature signal image) — представление синусоидального колебания как линейной комбинации синусоидального и косинусоидального колебаний с нулевой начальной фазой.

Кластер (cluster) — группа из близко расположенных сот, в пределах которой недопустимо повторное использование частот из-за опасности превышения уровня взаимных помех.

Клиппирование (clipping) — ограничение речевого сигнала в моменты пересечения нулевого уровня.

Кодирование с линейным предсказанием (LPC — Linear Predictive Coding) — метод низкоскоростного преобразования речевого сигнала, который связан с предсказанием изменения выходного сигнала, путем анализа речи с помощью фильтров с изменяемыми во времени параметрами.

Коммутатор ATM (ATM switch) — устройство, выполняющее функции таких сетевых элементов, как *маршрутизатор* и *мост*.

Коммутация каналов (CS — Circuit Switching) — процедура установления физического соединения между двумя оконечными устройствами с помощью одного или нескольких коммутаторов на все время связи.

Коммутация пакетов (PS — Packet Switching) — технология передачи данных, характеризуемая тем, что передаваемый поток разбивается на пакеты фиксированной или переменной длины, которые обрабатываются и коммутируются как независимые блоки.

Контроллер базовой станции (BSC — Base Station Controller) — элемент сети, который управляет несколькими *базовыми станциями*.

Контроллер радиосети (RNC — Radio Network Controller) — элемент сети 3-его поколения UTRAN. В системе GSM он называется *контроллером базовой станции (BSC)*.

Конференцсвязь (conferencing) — одновременная связь многих пользователей с возможностью общения всех абонентов (многосторонняя) или одного (главного абонента) со всеми.

Коэффициент битовых ошибок (BER — Bit Error Rate) — вероятность ошибки на бит.

Коэффициент появления ошибок в кадре (FER — Frame Error Rate) — отношение количества кадров, принятых с ошибками, к общему числу переданных.

Коэффициент расширения спектра (SF — Spreading Factor) определяется как отношение *чиповой скорости* к скорости передачи информации.

Л

Линейное предсказание с возбуждением по остаточному (усеченному) сигналу (RELP — Residual Excited Linear Predication) — метод вокодерного представления сигнала, который отличается от RPE-LPC тем, что в результате обработки кодируется и предсказывается часть речевого спектра, что уменьшает число обрабатываемых и предсказываемых отсчетов.

Линейное предсказание с возбуждением регулярной импульсной последовательностью (RPE-LPC — Regular Pulse Excitation Linear Prediction Code) — метод вокодерного представления сигнала. В основу этого метода положен принцип предсказания, когда информация от предыдущих временных отсчетов используется, чтобы предсказать текущий временной отсчет. Коэффициенты линейной комбинации предыдущих временных отсчетов, закодированная форма остаточных сигналов, разность между предсказанным и фактическим временными отсчетами предоставляют возможность восстановить сигнал на приемном конце.

Линейное предсказание с кодовым возбуждением (CELP — Code Excited Linear Prediction) — метод низкоскоростного сжатия речевого сигнала, при котором вместо кодирования сигналов «отсчет за отсчетом» кодером разностного сигнала применяется «кодовая книга возбуждения», из которой выбираются сигналы для сравнения с предыдущими сигналами и предсказания последующих сигналов. Существует больше число разновидностей «кодовых книг».

Локальная географическая зона (LA — Location Area) — зона в мобильной связи, в которой сосредоточены *базовые станции*. Каждой из локальных зон присваивается свой идентификационный номер (LAC — Location Area Code).

М

Манипуляция (keying) — процесс воздействия на несущую частоту с помощью входного цифрового сигнала с целью изменения ее параметров (амплитуды, частоты, фазы). В настоящее время имеется большое число способов модуляции и манипуляции.

Манипуляция с минимальным частотным сдвигом (MSK — Minimum Shift Keying) — частный случай частотной модуляции. Обычно MSK представляет собой двоичную частотную манипуляцию с двумя сигнальными частотами, сдвиг по фазе между которыми составляет 180° на каждом тактовом интервале.

Маршрутизатор (router) — устройство или программа, выполняющие выбор маршрута на основании собственной таблицы или данных, содержащихся в заголовке сообщений.

Матрица Адамара (Hadamar matrix) — семейство матриц, формируемых при увеличении размера в соответствии со специальным алгоритмом, используемое для построения функций Уолша.

Международный опознавательный код мобильного абонента (IMSI — International Mobile Station Identity) — номер, используемый для идентификации абонента, включающий код страны, код сети оператора и номер абонента в сети.

Международный опознавательный код мобильного оборудования (IMEI — International Mobile Equipment Identity) — номер, используемый для идентификации *мобильной станции*.

Многоимпульсное кодирование с линейным предсказанием (MPLPC — Multi-Pulse LPC) — один из видов кодирования речи с *линейным предсказанием LPC*; отличается тем, что предсказание касается не основного тона, а параметров передаваемых и принимаемых импульсов.

Многолучевое распространения (multipath propagation) — распространение радиоволн от передатчика к приемнику одновременно по нескольким траекториям.

Многопротокольная коммутация с использованием меток (MPLS — Multiprotocol Label Switching) — технология, которая использует метки в пакетах данных и позволяет создавать выделенные коммутируемые потоки.

Многостанционный доступ с временным разделением (TDMA — Time Division Multiple Access) — метод доступа, при котором все абоненты передают информацию на одной несущей частоте, но в разных временных положениях.

Многостанционный доступ с временным разделением типа ALOHA (TDMA — Time Division Multiple Access ALOHA). Принцип доступа, основанный на том, что все станции используют один канал связи, контролируя его работу, а передача осуществляется в случайные моменты времени, что уменьшает вероятность конфликтов.

Многостанционный доступ с кодовым разделением (CDMA — Code Division Multiple Access) — технология, основанная на применении сигналов, сформированных на базе кодовых *псевдослучайных последовательностей*.

Многостанционный доступ с частотным разделением каналов (FDMA — Frequency Division Multiple Access) — метод доступа, при котором весь выделенный диапазон частот разделяется на неперекрывающиеся полосы. При организации связи каждому абоненту выделяется отдельный канал, сигналы по которому передаются на своей несущей частоте.

Мобильная наземная сеть общего пользования (PLMN — Public Land Mobile Network) — общее название сетей морской, воздушной и наземной радиосвязи (кроме спутниковой).

Мобильная спутниковая служба (MSS — Mobile Satellite Service) — служба радиосвязи для организации информационного обмена между мобильными наземными станциями или между мобильными и стационарными наземными станциями.

Мобильная станция (MS — Mobile Station) — общее название радиостанций, предназначенных для использования абонентами во время передвижения.

Мобильный WiMAX — система мобильной широкополосной связи.

Модель OSI — концептуальная семиуровневая модель, определяющая семейства стандартов, гарантирующая возможность взаимодействия между уровнями.

Модуль идентификации абонента (Subscriber Identification Module, SIM-карта) — устройство, гарантирующее санкционированный доступ в мобильную сеть. В настоящее время этот модуль выполнен в виде пластиковой карты.

Модуляция (modulation) — процесс изменения параметров несущей частоты (амплитуды, частоты или фазы) по заданному закону, который осуществляется с более низкой скоростью по сравнению с периодом высокочастотного колебания.

Мост (bridge) — устройство, объединяющее несколько однотипных фрагментов сети со сходными протоколами обмена в сетевые фрагменты более крупного размера.

Мягкий хэндовер (soft handover) — переключение рабочего канала с одной *базовой станции* на другую без потери информации.

Н

Наращиваемое ортогональное частотное разделение каналов OFDM (S-OFDMA — Scalable OFDMA) — *ортогональное частотное разделение каналов*, при котором осуществляется увеличение или уменьшение числа поднесущих, используемых для переноса информации с целью гибкого использования частотного спектра.

Неортогональный многостанционный доступ с кодовым разделением каналов (non orthogonal CDMA) — метод *CDMA*, основанный на применении генерируемых по специальному закону *псевдослучайных последовательностей* для разделения каналов и зон обслуживания.

Низкоскоростной совмещенный канал управления (SACCH — Slow Associated Control Channel) — канал, который передает в середине каждого временного интервала пакета непрерывные сообщения об измерениях (например, напряженности поля) и информацию, содержащуюся в обучающей последовательности.

О

Обнаружение голосовой активности (VAD — Voice Activity Detection) — действие, обнаруживающее появления речи после режима молчания. Главная задача — отличить речь от шумов.

Оборудование пользователя (UE — User Equipment) — абонентское оборудование в системе *UMTS*, которое предназначено для работы в движении.

Обучающая последовательность (training sequence) — последовательность, используемая для оценки характеристик канала при распространении радиоволн. Передается обычно в середине каждого временного интервала пакета.

Общая служба пакетной радиопередачи (GPRS — General Packet Radio Service) — служба пакетной передачи данных, разработанная в рамках системы *GSM*.

Общедоступный канал управления (SHCCH — Shared Control Channel) — двунаправленный канал, применяемый только в режиме *временного дуплексного разделения* (*TDD — Time Division Duplex*) *WCDMA/UMTS*; он используется для транспортировки общедоступной управляющей информации канала.

Общеканальная сигнализация ОКС–7 (CCS7 — Common Channel Signaling) — метод сигнализации, при котором для передачи управляющей информации из множества каналов для сигнализации создается групповой тракт.

Общий канал передачи пакетов (CPCH — Common Packet Channel) — однонаправленный канал связи *универсальной мобильной телекоммуникационной систе-*

мы (UMTS) от оборудования *пользователя UE* к станции. Обеспечивает возможности, дополняющие канал случайного доступа RACH, а также передает сигналы быстрого регулирования мощности.

Общий канал трафика (CTCH — Common Traffic Channel) — однонаправленный канал *универсальной мобильной телекоммуникационной системы* (от станции к абоненту), используемый для передачи специализированной пользовательской информации группе *оборудования пользователей UE*.

Общие каналы управления (CCCH — Common Control Channel) — группа каналов связи от абонента к станции и каналы связи от сети к *MS*. Например, в группу могут входить *широковещательные каналы коротких сообщений (вызова) PCH, канал предоставления доступа AGCH*.

Общий пилот-канал (CPICH — Common Pilot Channel) — информационный канал *универсальной мобильной телекоммуникационной системы (UMTS)*. Информация по этому каналу передается каждым *узлом B* для того, чтобы *UE* было способно поддерживать синхронизацию.

Ортогональное частотное разделение каналов (OFDM — Orthogonal Frequency Division Multiple) — метод мультиплексирования, который подразделяет полосу канала на множество поднесущих частот. При этом последовательный поток информации длиной N разбивается на n блоков (n — число поднесущих), а символы разных блоков передаются параллельно каждый на своей поднесущей.

Ортогональные функции (orthogonal functions) — функции, у которых взаимная корреляция равна нулю.

Ортогональный многостанционный доступ с кодовым разделением каналов (orthogonal CDMA) — метод *CDMA*, основанный на применении ортогональных функций (например, *функций Уолша*) для разделения каналов и зон обслуживания.

Отношение E_b/N_0 (energy to spectral noise ratio) — показатель помехоустойчивости канала связи, равный отношению энергии сигнала, приходящейся на один бит — E_b (Дж/бит), к спектральной плотности шума — N_0 (Вт/Гц).

П

Парная полоса частот (pair bands) — полоса частот, включающая два частотных интервала, один из которых выделен на передачу, а другой — на прием.

Первичный общий физический канал управления (PCCPCH — Primary Common Control Physical Channel) — однонаправленный канала *UMTS* от станции к *оборудованию пользователя*. Этот широковещательный канал непрерывно передает системную идентификацию (например, номера подвижного оборудования) и информацию управления доступом (например, номер приоритета абонента).

Переадресация вызова (redirected call) — дополнительная услуга, при которой входящий вызов при определенных условиях направляется на другой адрес.

Перемежение (перестановка) (interleaving) — изменение позиций блоков информации относительно друг друга, которое позволяет разнести стоящие рядом символы, принадлежащие одному и тому же сообщению.

Перепрограммирование по эфиру (OTAR — Over The Air Reprogramming) — процедура изменения параметров настройки или программы путем передачи по радиоканалу в зашифрованном виде.

Пилотный канал (PICH — Pilot Channel) — служебный канал системы *CDMA*, предназначенный для установления начальной синхронизации, контроля уровня сигнала *базовой станции* по времени, частоте и фазе, идентификации *базовой станции*.

Пилотный сигнал (pilot signal) — сигнал, предназначенный для контроля и сравнения условий распространения радиоволн от различных *мобильных станций*.

Плоскость пользователя (U-plane) — совокупность протоколов, которые определяют все функции передачи и приема информации, передаваемой и принимаемой пользователем, включая транспортировку всех видов информации, в совокупности с соответствующими механизмами защиты от ошибок, контроля и управления потоком.

Плоскость управления (C-plan) — группа протоколов общей модели *универсальной мобильной телекоммуникационной системы* (*UMTS*), которые определяют все функции сигнализации, установления, контроля и разъединения соединений.

Плоскость управления транспортной сетью (CT-plane) — группа протоколов общей модели *универсальной мобильной телекоммуникационной системы* (*UMTS*), которые используются для управления и организации каналов сигнализации на транспортном уровне.

Повторное использование частот (frequency reuse) — способ организации связи, при которой одни и те же частоты многократно используются в разных зонах обслуживания.

Подсистема базовых станций (BSS — Base Station System) — оборудование, обеспечивающее интерфейс между *центром коммутации мобильным связи* и *контроллером базовой станции*.

Подсистема передачи сообщений (MTP — Message Transfer Part) — подсистема системы *ОКС–7*, которая обеспечивает достоверную передачу информации без искажений, потерь, дублирования и в установленной последовательности.

Подсистема управления соединением каналов сигнализации (SCCP — Signaling Connection Control Part) — подсистема сетевого уровня ОКС–7, которая обеспечивает логические каналы данных в системах, ориентированных и не ориентированных на соединение.

Порог значения времени таймера снижения (T_TDROP) — параметр *хэндовера*, указывающий минимальное время снижения уровня сигнала, после которого следует начинать хэндовер.

Порог обнаружения пилот-сигнала (T_ADD) — параметр *хэндовера*, показывающий напряженность поля, после достижения которой этот *пилот-сигнал* может быть использован для *хэндовера*.

Порог снижения пилот-сигнала (T_DROP) — параметр *хэндовера*, показывающий порог нормального сигнала, ниже которого требуется начинать процесс *хэндовера*.

Порог сравнения (T_COMP) — параметр *хэндовера*, указывающий насколько уровень данного *пилотного сигнала* отличается от уровня других, входящих в данную группу.

Последовательность максимальной длины (m-последовательность) — *псевдослучайная последовательность* максимальной длины, которая генерируется с помощью *m*-разрядного регистра сдвига с обратными связями.

Прерывистая передача (DTX — Discontinuous Transmission Mode) — метод, при котором передатчик с целью экономии расхода энергии выключается в течение периодов молчания.

Прерывистый прием (DRX — Discontinuous Reception) — метод, при котором передатчик с целью экономии расхода энергии при отсутствии соединения периодически переводится в дежурный режим.

Прикладная подсистема для прямой передачи (DTAP — Direct Transfer Application Part) — система протоколов, которая применяется для передачи сообщений управления соединением и управления подвижностью между *MS* и *MSC*. Сообщения прямой передачи не обрабатываются в *BSS*, а только преобразуются в соответствующие сигналы радиоинтерфейса и обратно.

Прикладная часть (подсистема) административного управления подсистемой бозовой станции (BSSMAP — Base Station System Management Application Part) — система протоколов 3-го уровня, предназначенная для управления русурсами и хэндовером.

Прикладная часть (подсистема) системы базовой станции (BSSAP — Base Station System Application Part) — система протоколов, которая предназначена для обслуживания взаимодействия *BSS* и *MSC*. Пользовательские функции BSSAP подразделены на две отдельные группы: *прикладную систему управления базовой станцией* (*BSSMAP*) и *прикладную систему для прямой передачи* (*DTAP*).

Прикладная подсистема радиосети (RNSAP — Radio Network Subsystem Application Part) — протокол, который используется для управления задачами сигнализации на участке радиосети (*RNC–RNC*) как часть *интерфейса Iur*.

Прикладной протокол взаимодействия базовых станций (NBAP — Network Base station Application Protocol) — протокол, который используется для управления задачами сигнализации на участке между *базовыми станциями* (*узлами B*) и *радиоконтроллерами RNC*.

Прикладные протоколы сети радиодоступа (RANAP — Radio Access Network Application) — протоколы, которые применяются для управления задачами сигнализации на участке радиодоступа *RNC–MSC* как часть *интерфейса Iub*.

Проба доступа (access probe) — короткий пакет, используемый при управлении мощностью; его информация позволяет регулировать уровень мощности.

Проект IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000) — международная программа и проекты стандартов связи мобильной связи 3-его поколения.

Протокол X.25 — протокол передачи данных для сетей с *коммутацией пакетов*.

Протокол управления звеном доступа (ALCAP — Access Link Control Application) — протокол, который используется для установления транспортных каналов в *плоскости управления транспортной сетью* для *плоскости пользователя*.

Процедура доступа к звену передачи данных для канала D (LAPD — Link Access Procedure for the D-channel) — процедура обмена сигналами при установлении соединения между двумя соседними узлами *ISDN* в режиме «точка–точка».

Псевдослучайная перестройка по времени (time hopping) — метод расширения спектра, при котором производится сжатие информационного сигнала во временной области с последующей его передачей в случайные интервалы времени.

Псевдослучайная последовательность (pseudorandom sequence) — периодическая последовательность символов, которая генерируется детерминированным образом, однако обладает свойствами, присущими случайным сигналам (например, достаточно большой период повторяемости одних и тех же символов).

Пустой слот (DB — Dummy Burst) — это вспомогательный пакет, который содержит два поля по 58 бит, не несущих информации. Он передается с целью оповещения о том, что станция находится в работоспособном состоянии.

Р

Разнесение (diversity) — метод борьбы с *замираниями*, основанный на организации нескольких каналов для приема сигналов с одной и той же информацией.

Расстояние повторного использования частот (frequency reuse distance). Расстояние между центрами двух удаленных сот, начиная с которого допускается *повторное использование частот*.

Расширенный спектр (spread spectrum) — спектр передаваемого сигнала, при котором занимаемая им полоса частот в радиоканале во много раз шире, чем полоса исходного информационного сигнала.

Расширяющая последовательность (spreading sequence) — кодовая последовательность, применяемая для расширения спектра в системах с кодовым разделением каналов (например, в CDMA).

Регистр идентификации оборудования (EIR — Equipment Identity Register) — централизованная база данных, содержащая списки *международных опознавательных кодов мобильного оборудования IMEI* и их статус (использование разрешено, украден, отказано в обслуживании).

Регистрация (registration) — процедура проверки прав и полномочий пользователя при входе в систему.

Речевая почта (voice mailbox) — интерактивная служба, позволяющая запоминать и хранить речевые сообщения.

Роуминг (roumong) — услуга предоставления связи при перемещении в зону обслуживания другого оператора.

С

Сверточное кодирование (convolution coding) — метод кодирования, при котором каждый символ, состоящий из k битов, преобразуется в n-битовый поток. *См. скорость кодирования, длина кодового ограничения.*

Секторизованная антенна (sectorized antenna) — антенна, у которой зона покрытия разделяется на секторы.

Секторизованная сота (sectorized cell) — сота, в которой обслуживание абонентов осуществляется *базовой станцией с секторизованной антенной*.

Сеть наземного радиодоступа UMTS — UTRAN (UTRAN — UMTS Terrestrial Radio Access Network) — сеть, которая использует стандарт радиоинтерфейса, обеспечивающего наземный радиодоступ в систему *UMTS*.

Сеть с коммутацией каналов (CSN — Circuit Switching Network) — сеть, основанная на способе организации связи без буферизации данных, используемая в телефонных сетях.

Сеть с коммутацией пакетов (PSN — Packet Switching Network) — сеть, в которой реализована технология передачи данных *с коммутацией пакетов* на узлах.

Символ (symbol). При ортогональном частотном разделении каналов (OFDM) — протокольная единица, передаваемая с помощью одной несущей.

Система cdma2000 — проект стандарта широкополосной мобильной системы 3-го поколения, рассчитанный на постепенную модернизацию систем 2-го поколения *CDMA*.

Система cdmaOne — система 2-го поколения, которая развивается в систему 3-го поколения (1XMC, 3XMC).

Система EDGE (Enhanced Data for Global Evolution) — система, реализованная на базе стандартов *GSM*; обеспечивает плавный переход к системам 3-го поколения, позволяя увеличить скорость передачи данных до 384 кбит/с.

Скачок частоты (frequency hopping). Под скачкообразным изменением частоты понимают периодическую перестройку одной или нескольких частот при передаче.

Скорость кодирования (code rate) — отношение длины исходной информационной последовательности к длине кодированной последовательности.

Слой без доступа (NAS — non-access stratum) — информация, переносимая между *базовой сетью CN* и *оборудованием пользователя UE* через *сеть UTRAN*.

Слой доступа (access stratum) — информация, необходимая для взаимодействия *оборудования пользователя UE и сети UTRAN*.

Слот доступа (AB — Access Burst) предназначен для разрешения доступа *MS* к *BSS*; передается по *каналу произвольного доступа* (*RACH — Random Access Channel*) в качестве первого запроса, когда станции еще не вошли в синхронный режим и неизвестно время прохождения сигнала.

Слот подстройки частоты (FB — Frequency correction Burst) — слот, который предназначен для синхронизации частот мобильной станции. Для передачи этих слотов выделяется канал *подстройки частоты FCCH*.

Слот синхронизации (SB — Synchronization Burst) — слот, который, предназначен для синхронизации по времени *базовой* и *мобильной станций*. Слот содержит синхропоследовательность (64 бита), зашифрованную информацию о номере кадра TDMA и коде идентификации *базовой станции*. Для передачи этих слотов выделяется отдельный *канал синхронизации SCH*.

Служба передачи коротких сообщений (SMS — Short Massage Service) — специальная служба мобильной связи, обеспечивающая передачу сообщений ограниченной длины.

Случайный доступ (random access) — метод доступа, при котором несколько станций устанавливают соединение через общий канал связи. В случае конфликта попытка соединения повторяется каждым участником через случайное время.

Специализированный (выделенный) канал трафика (DTCH — Dedicated Traffic Channel) — двунаправленный канал в системе *UMTS*; используется для доставки пользовательских данных или трафика.

Специализированный (выделенный) транспортный канал (DCH — Dedicated transport Channel) — двунаправленный канал в системе *UMTS*, который используется для того, чтобы передать данные конкретному *оборудованию пользователя UE*. Каждый *UE* имеет свой собственный *DCH* в каждом направлении.

Специализированный (выделенный) физический канал данных (DPDCH — Dedicated Physical Data Channel) — двунаправленный канал системы *UMTS*, который используется, чтобы передать пользовательские данные.

Специализированный (выделенный) физический канал управления (DPCCH — Dedicated Physical Control Channel) — двунаправленный канал *UMTS*, который доставляет управляющую информация к/от *UE*. В обоих направлениях канал доставляет биты *пилотного сигнала*.

Стандарт шифрования данных (DES — Data Encryption Standard) — стандарт шифрования для использования невоенными и неклассифицированными пользователями (пользователями, которым не присвоен класс секретности).

Т

Телетекст (teletext) — служба передачи текстовых сообщений, которая может отображаться на экране телевизора или дисплея.

Телефакс (telefax) — служба передачи факсимильных сообщений по телефонным каналам.

Терминальное оборудование (TE — Terminal Equipment) — оконечное оборудование в сети *ISDN*.

Транскодер (TCE — Transcoder Equipment) — устройство, которое обеспечивает преобразование выходных сигналов речи и данных *MSC* (64 кбит/с ИКМ) к виду, соответствующему рекомендациям *GSM* по радиоинтерфейсу.

Трафик (traffic) — поток информации (полезной, управляющей, вспомогательной и пр.), передаваемый по каналу связи. Средняя интенсивность трафика обычно измеряется в Эрлангах.

У

Узел B — элемент *сети UTRAN*, выполняющий функции, аналогичные функциями базовой станции в других мобильных сетях.

Универсальная мобильная телекоммуникационная система (UMTS — Universal Mobile Telecommunications System) — проект общеевропейской мобильной системы 3-его поколения.

Управление мобильностью (MM — Mobility Management) — подуровень 3-го уровня протоколов радиоинтерфейса, управляющий обновлением местоположения и процедурами регистрации, а также защитой и аутентификацией.

Управление мощностью (power control) — процесс, поддерживающий уровень мощности мобильной станции, который обеспечивает характеристики качества обслуживания и низкий уровень межканальной интерференции.

Управление мощностью по замкнутому циклу (closed loop power control) — процесс, который предполагает измерение базовой станцией уровня мощности, принятой *базовой станцией* от *мобильной станции*, и выравнивание этого уровня по управляющему каналу.

Управление мощностью по открытому циклу (open loop power control) — процесс, при котором мобильная станция определяет уровень мощности передачи, измеряя уровень мощности сигналов, поступающих по прямой линии. При этом предполагается, что потери на передачу в обоих направлениях равны.

Управление приемом и передачей базовой станции (BTSM — Base Transceiver Station Management) — протокол взаимодействия *BSC–BTS* (Base Station Controller — Base Transceiver Station) или интерфейс A_{bis}.

Управление радиоресурсами (RRM — Radio Resources Management) — подуровень 3-его уровня протоколов радиоинтерфейса, который управляет установкой и обслуживанием радиоканалов, включая *хэндовер*.

Управление соединением (CM — Connection Management) — подуровень 3-го уровня протоколов радиоинтерфейса; обрабатывает общий процесс управления установлением соединения и сигнализацией, а также управляет дополнительными услугами и службой передачи коротких сообщений.

Устройство оценки качества и выбора блоков (SU — Selector Unit) — устройство *базовой станции*, принимающее сигналы от мобильной станции, приходящие различными путями. Выбирает один сигнал, обладающий лучшим качеством.

Ф

Фазовая манипуляция (PSK — Phase Sift Keying) — метод n-уровневой манипуляции, при котором кодирование сигнала осуществляется путем изменения фазы на величину равную $k(2\pi/n)$, где $2\pi/n$ — величина, на которую отличаются фазы соседних сигналов, k — значение уровня кодируемого сигнала.

Физический канал произвольного доступа (PRACH — Physical Random Access Channel) — однонаправленный канал связи *универсальной мобильной телекоммуникационной системы* (*UMTS*) *от оборудования пользователя UE* к станции. Этот канал дает возможность *UE* передать сообщения произвольного доступа при попытке обращения к сети.

Физический совместно используемый канал по направлению «вниз» (PDSCH — Physical Downlink Shared Channel) — однонаправленный *канал универсальной мобильной телекоммуникационной системы* (*UMTS*) от *BTS* к *оборудованию пользователя UE*. Этот канал совместно используется *UE* для пересылки управляющей информации в пределах области охвата *узла B*.

Фиксированный доступ (fixed access) — один из видов организации радиосвязи, при котором пользователь может устанавливать беспроводную связь только из одной зоны с одной базовой станцией.

Фонемы (phonemes) — отдельные пики энергии, возникающие в одном частотном диапазоне.

Функции Уолша (Walsh functions) — набор из n ортогональных последовательностей длиной 2^n (n — целое число), в которых используются только 0 и 1. Являются дискретными аналогами синусоид (косинусоид).

Х

«Хвостовые» биты (заключительные биты) (tail bits) — биты, располагающиеся по краям одного блока и указывающие его границы. Они защищают информацию при сдвиге.

Хэндовер (handover) — переключение мобильной станции с одной базовой станции на другую. Возможны жесткий хэндовер — с ухудшением качеством связи во время такого перехода, мягкий хэндовер — без потери качества.

Хэндовер, управляемый базовой станцией (MAHO — Mobile Assisted Handover) — *хэндовер*, при котором *мобильная станция* выполняет измерение интенсивности сигнала и передает эти данные на *базовую станцию*.

Хэндовер, управляемый мобильной станцией (MCHO — Mobile Controlled Handover) — *хэндовер*, при котором уровень сигналов, принимаемых от разных *базовых станций*, управляется *мобильной станцией*. Она же принимает решение, где и какой хэндовер ей необходим.

Ц

Центр аутентификации (AuC — Authentication Center) — совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих формирование ключей и протоколов *аутентификации*.

Центр коммутации мобильный связи (MSC — Mobile Switching Center) — центр коммутации, который связан с несколькими *базовыми станциями* и через них обеспечивает наземное обслуживание *мобильных станций*.

Центр управления сетью (NMC — Network Management Center) — сетевой узел, который позволяет обеспечивать рациональное иерархическое управление сетью. Он обеспечивает эксплуатацию и техническое обслуживание на уровне всей сети, поддерживаемой *центрами эксплуатации и технического обслуживания* (*OMC*).

Центр эксплуатации и технического обслуживания (OMC — Operations and Maintenance Center) — центр, который обеспечивает контроль и управление компонентами сети и контроль качества ее работы.

Цифровая сеть с интеграцией служб (ISDN — Integrated Services Digital Network) — сеть, предназначенная для предоставления различных видов услуг на базе единого цифрового канала со скоростью 64 кбит/с.

Ч

Чип (chip) — элемент сигнала, расширяющего спектр.

Чиповая скорость (chip rate) — скорость передачи элементов *расширяющей последовательности*.

Ш

Широковещательная передача (вещание) (broadcasting) — передача одной и той же информации всем подключенным к данному передатчику станциям.

Широковещательные каналы (BCH — Broadcast Channel) — группа каналов, которые доставляют информацию от станции к абоненту. Они предназначены, главным образом, для коррекции частоты и синхронизации.

Широковещательный канал коротких сообщений (канал вызова) (PCH — Paging Channel) — исходящий канал только от сети к *MS*; *BTS* информирует *MS* о входящих вызовах через PCH.

Широковещательный канал управления (BCCH — Broadcast Control Channel) — канал, который передает общую информацию, касающуюся сот, например, код зоны местоположения, идентификатор сетевого оператора, тип доступа, параметры, список соседних ячеек и т.д

Широковещательный управляющий канал оповещения (PCCH — Paging Control Channel) — канал сигнализации, направленный от станции к абоненту. Этот канал связан с *PICH* и используется для уведомления и широковещательных передач вызова.

Широкополосный CDMA (WCDMA — Wideband CDMA) — технология многостанционного доступа, основанная на использовании сигналов с *расширенным спектром* и применяемая для высокоскоростной передачи данных и видео.

Шифрование с помощью общедоступного ключа (public key enckription) — метод шифрования, основанный на однонаправленном алгоритме. Метод использует два типа ключей: общедоступный, выбираемый из общедоступного множества, и частный, известный только приемнику.

Шлюз MSC (gateway MSC) — аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий межсетевое взаимодействие *MSC* с другими сетями.

Список сокращений

1Xtrem		Высокоскоростная технология, развивающая IMT-2000
3GPP	Third Generation Partnership Project	Проект партнерства производителей (сотовой связи) третьего поколения
3XMS	CDMA 3X Multi Carrier	Гибридная технология, сочетающая многочастотное и кодовое разделение каналов
AAA	Authentication, Authorization and Accounting	Система опознавания, установления подлинности и ведения учета
AAL	ATM Adaptation Layer	Уровень адаптации ATM
AAS	Adaptive Antenna System	Адаптивная антенная система
AB	Access Burst	Слот доступа
ABS	Anchor Base Station	Базовая станция привязки
ACH	Access Channel	Канал доступа
ACM	Address Complete	Сообщение о принятии полного адреса
ADC	Administration Center	Административный центр
AES	Advanced Encryption Standard	Усовершенствованный стандарт шифрования
AGCH	Access Grant Channel	Канал предоставления доступа
AICH	Acquisition Indicator Channel	Канал индикатора вхождения в синхронизм
ALCAP	Access Link Control Application	Протокол управления звеном доступа
ALT	ATM Link Termination	Оконечный комплект ATM-подключения
AMC	Adaptive Modulation and Coding	Адаптивная модуляция и кодирование
AMPS	Advances Mobile Phone System	Усовершенствованная система мобильной связи
AMRS	Adaptive Multi Rate System	Адаптивная многоскоростная система
AMSC	Anchor MSC	Центр привязки
ANM	Answer Message	Ответное сообщение
ASN	Access Service Network Abstract Syntax Notation	Сеть доступа к услуге Нотация абстрактного синтаксиса
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Асинхронный режим передачи
AuC	Authentication Center	Центр аутентификации
BCCH	Broadcast Control Channel	Широковещательный канал управления
BCH	Broadcast Channel	Широковещательный канал
BER	Bit Error Ratio	Коэффициент появления битовых ошибок
BPSK	Binary Phase Shift Keying	Двоичная фазовая манипуляция
BSC	Base Station Controller	Контроллер базовой станции
BSS	Base Station System	Оборудование (подсистема) базовой станции
BRI	Basic Rate Interface	Интерфейс доступа на основной скорости
BSSAP	Base Station System Application Part	Прикладная часть (подсистема) системы базовой станции
BSSMAP	BSS Management Application Part	Прикладная часть (подсистема) административного управления подсистемой базовой станции
BTC	Block Turbo Code	Блочное турбо-кодирование
BTS	Base Transceiver Station	Базовая приемопередающая станция

BWAA	Bandwidth Allocation/Access	Распределение/обеспечение доступа к полосе частот
CA	Certification Authority	Проверка (сертификационных) полномочий
CASM	Channel Assignment Message	Сообщение «назначение канала»
CAVE	Cellular Authentication Voice Encryption	Алгоритм аутентификации и шифрования речи в сотовой связи
CC	Convolution Coding	Сверточное кодирование
CCCH	Common Control Channel	Общий канал управления
CCS7	Common Channel Signaling–7	Общеканальная сигнализация — ОКС–7
CD/CA	Collision Detection/Channel Assignment	Обнаружение конфликтов / Назначение канала
CDMA	Code Division Multiple Access	Многостанционный доступ с кодовым разделением
CELP	Code Excited Linear Prediction	Линейное предсказание с кодовым возбуждением
CEPT	Conference of European Post and Telecommunication	Конференция европейских почт и телекоммуникаций
CID	Communication ID	Идентификатор соединения
CM	Connection Management	Управление соединением
CMEA	Cellular Message Encryption Algorithm	Алгоритм шифрования сообщений в сотовой связи
CN	Core Network	Основная сеть
CPCH	Common Packet Channel	Общий канал передачи пакетов
CPICH	Common Pilot Channel	Общий пилот-канал
CQI	Channel Quality Indicator	Индикатор качества канала
CQICH	Channel Quality Indication Channel	Канал индикации качества канала
CR	Call Request	Запрос на соединение
CRNC	Control RNC	Управляющий контроллер радиосети
CS	Channel Switching	Коммутация каналов
CSICH	CPCH Status Indication Channel	Канал индикации состояния CPCH
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection	Многостанционный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликта
CSN	Circuit Switching Network	Сеть с коммутацией каналов
	Connectivity Service Network	Сеть взаимодействия с услугой
CTC	Convolution Turbo Coding	Сверточное турбо-кодирование
CTCH	Common Traffic Channel	Общий канал трафика
D-AMPS	Digital AMPS	Цифровая усовершенствованная служба мобильной связи
DB	Dummy Burst	Пустой слот
DBR	Data Burst Randomizer	Генератор случайных чисел
DCCH	Dedicated Control Channel	Выделенный (специализированный) канал управления
DCH	Dedicated transport Channel,	Выделенный (специализированный) транспортный канал
DES	Data Encryption Standard	Стандарт шифрования данных
DK	Data Key	Ключ данных

DL	Downlink	Линия «вниз», направленная от базовой станции к мобильной
DMS	Diversity-Map Scan	Сканирование массива разнесения
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification	Спецификация интерфейса передачи данных по (ТВ) кабелю
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel	Выделенный (специализированный) физический канал управления
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel	Выделенный (специализированный) физический канал данных
DRNC	Drift RNC	Дрейфующий контроллер радиосети
DSCH	Downlink Shared Channel	Канал совместного использования «вниз»
DSM	Direct Signaling Method	Метод прямой сигнализации
DSP	Digital Signal Processor	Цифровой сигнальный процессор
DT	Data Transfer	Передача данных
DTAP	Direct Transfer Application Part	Прикладная часть (подсистема) прямой передачи
DTCH	Dedicated Traffic Channel	Выделенный (специализированный) канал трафика
DTE	Data Terminating Equipment	Оконечное оборудование данных
DTX	Discontinuous Transmission Mode	Метод прерывистой передачи
EAP	Extensible Authentication Protocol	Расширяемый протокол аутентификации
E_b/N_0	Energy to Spectral Noise Ratio	Отношение энергии сигнала, приходящейся на один бит, — E_b (Дж/бит) к спектральной плотности шума N_0 (Вт/Гц)
ECMEA	Enhanced CMEA	Усовершенствованный алгоритм CMEA
EDGE	Enhanced Data rate for GSM Evolution	Технология увеличения скорости передачи данных в сетях GSM
EFR	Enhanced Full Rate	Повышенная полная скорость
EGPRS	Enhanced GPRS	Усовершенствованная служба пакетной передачи
EIR	Equipment Identification Register	Регистр идентификации оборудования
ESN	Electronic Serial Number	Электронный серийный номер оборудования
ET	Exchange Terminal	Оконечный терминал
ETSI	European Telecommunication Standards Institute	Европейский институт телекоммуникационных стандартов
FACCH	Fast Associated Control Channel	Быстродействующий совмещенный канал управления
FACH	Forward Access Channel	Канал прямого доступа
FB	Frequency correction Burst	Слот подстройки частоты
FBSS	Fast Base Station Switching	Быстрое переключение базовой станции
FCCH	Frequency Correction Channel	Канал подстройки частоты
FCH	Frame Control Header	Заголовок управления кадром
FDD	Frequency Duplex Division	Дуплексная передача с частотным разделением каналов
FDMA	Frequency Division Multiple Access	Многостанционный доступ с частотным разделением каналов
FER	Frame Error Rate	Коэффициент появления ошибок в кадре
FFT	Fast Fourier Transform	Быстрое преобразование Фурье (БПФ)

FHDC	Frequency Hopping Diversity Code	Код со скачкообразной перестройкой частоты
FLI	Forward Link Initiation	Инициирование прямого соединения
FLPC	Forward Link Power Control	Управление мощностью прямой линии связи
FLT	Forward Link Training	Тренировка (проверка) прямого соединения
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telephone System	Перспективная система наземной мобильной телефонной связи общего пользования
FTCH	Forward Traffic Channel	Канал прямого трафика
FUSC	Fully Used Subcanalization	Каналообразование с полным использованием поднесущих частот
GGSN	Gateway GPRS Support Node	Шлюз с поддержкой GPRS
GMPCS	Global Mobile Personal Communication by Satellite	Глобальная мобильная персональная спутниковая связь
GMSC	Gateway MSC	Межсетевой коммутационный центр мобильной связи
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying	Гауссовская манипуляция с минимальным частотным сдвигом
GPRS	General Packet Radio Service	Общая служба пакетной радиопередачи
GPS	Global Positioning System	Глобальная навигационная система
GSM	Global System for Mobile Communication	Глобальная система мобильной связи
GTP	GPRS Tunneling Protocol	Протокол туннельной проводки GPRS
HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest	Гибридный автоматический запрос на повторную передачу
HCM	Handover Completion Message	Сообщение о завершении хэндовера
HDFDD	Half-Duplex – Frequency Division Duplex	Полудуплекс с частотным разделением
HDM	Handover Direction Message	Сообщение запроса хэндовера
HDR	High Data Rate	Система передачи данных с высокой скоростью
HHO	Hard Handover	Жесткий хэндовер
HLR	Home Location Register	Домашний регистр местоположения
HMAC	Hash based Message Authentication Code	Код аутентификации сообщений на основе хэширования
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data	Высокоскоростная передача данных в сетях с коммутацией каналов
IAM	Initial Address Message	Начальное адресное сообщение
ICH	Indication Channel	Канал индикации
ID	Identifier	Идентификатор
IMEI	International Mobile Equipment Identity	Международный опознавательный код мобильного оборудования
IMSI	International Mobile Subscriber Identity	Международный опознавательный код мобильного абонента
IMT-2000	International Mobile Telecommunication – 2000	Международная мобильная связь 2000, стандарт систем мобильной связи 3G
ISDN	Integrated Service Digital Network	Цифровая сеть с интеграцией служб

UA

ITU	International Telecommunication Unit	Международный союз электросвязи
LAC	Location Area Code	Код зоны местоположения
LAPD	Link Access Procedure for the D-channel	Процедура доступа к звену передачи данных для канала D
LDPC	Low Density Parity Check Code	Код низкой плотности с проверкой на четность
LPC	Linear Predictive Coding	Кодирование с линейным предсказанием
LTP	Long Term Predicting	Долговременное предсказание
MAC	Media Access Control	Управления доступом к среде
MAN	Metropolitan Area Network	Городская сеть связи
MAP	Mobile Application Part	Прикладная подсистема системы мобильной связи
MBS	Multicast and Broadcast Service	Групповая рассылка и широковещательное обслуживание
MCDMA	Multi-Carrier CDMA	Многочастотный CDMA
MD	Message Digest	Дайджест сообщения
MDHO	Macro Diversity Handover	Макроразнесенный хэндовер
MIMO	Multi-Input Multi-OutPut	Система со многими входами и многими выходами
MIN	Mobile Identification Number	Мобильный идентификационный номер
MM	Mobility Management	Управление мобильностью
MPLPC	Multi Pulse Linear Prediction Coding	Многоимпульсное кодирование с линейным предсказанием
MPLS	Multiprotocol Label Switching	Многопротокольная коммутация с использованием меток
MS	Mobile Station	Мобильная станция
MSC	Mobile Switching Center	Центр коммутации мобильной связи
MSRN	Mobile Station Roaming Number	Роуминговый номер мобильной станции
MSS	Mobile Satellite Service	Мобильная спутниковая служба
MTP	Massage Transfer Part	Подсистема передачи сообщений
MUA	Mail User Agent	Агент пользователя почты
NAS	Non-Access Stratum	Слой без доступа
NBAP	Network Base station Application Protocol	Прикладной протокол взаимодействия базовых станций
NLUM	Neighbor List Update Message	Сообщение о модернизации списка соседних пилот-сигналов
NMC	Network Management Center	Центр управления сетью
NRM	Network Reference Model	Эталонная модель сети WiMAX
NWG	Network Working Group	Рабочая группа по изучению сетей
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Ортогональное частотное разделение каналов
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access	Ортогональный многостанционный доступ с частотным разделением
OMC	Operation and Maintenance Center	Центр эксплуатации и технического обслуживания

OTASR	Over The Air Service Reprogramming	Перепрограммирование по эфиру
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor code	Ортогональное кодирование с переменным коэффициентом расширения
PCCH	Paging Control Channel	Широковещательный управляющий канал оповещения
PCCPCH	Primary Common Control Physical Channel	Первичный общий физический канал управления
PCH	Paging Channel	Широковещательный канал коротких сообщений (канал вызова)
PDC	Personal Digital Cellular	Персональная цифровая сотовая связь
PDN	Packet Data Network	Сеть пакетной коммутации
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel	Физический совместно используемый канал по направлению «вниз»
PDU	Protocol Data Unit	Протокольный блок данных
PICH	Pilot Channel	Пилотный канал
	Paging Indication Channel	Канал индикации вызова
PKMv2	Privacy and Key Management protocol Version 2	Протокол конфиденциальности и управления ключами, версия 2
PLCM	Private Long Code Mask	Маска частного длинного кода
PLMN	Public Land Mobile Network	Мобильная наземная сеть общего пользования
PN	Pseudo code Number	Номер псевдокода
PRACH	Physical Random Access Channel	Физический канал произвольного доступа
PRI	Primary Rate Interface	Интерфейс первичной скорости
PS	Packet Switching	Коммутация пакетов
PSCH	Primary Synchronizing Channel	Первичный канал синхронизации
PSDN	Packet Switched Data Network	Сеть передачи данных с пакетной коммутацией
PSMM	Pilot Strength Measurement Message	Сообщение об измерении интенсивности пилот-сигнала
PSPSN	Packet Switched Public Data Network	Сеть передачи данных общего пользования с коммутацией пакетов
PSTN	Public Switched Telephone Network	Телефонная сеть общего пользования
PUSC	Partly Used Subcanalization	Каналообразование с частичным использованием поднесущих частот
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Квадратурная амплитудная модуляция
QoS	Quality of Service	Качество обслуживания
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	Квадратурная фазовая манипуляция
RAB	Radio Access Bearer	Транспортная служба радиодоступа
RACH	Random Access Channel	Канал (связи) с произвольным доступом
RACCH	Random Access Control Channel	Канал управления произвольным доступом
RAN	Radio Access Network	Сеть радиодоступа
RANAP	RAN Application Protocol	Прикладной протокол сети радиодоступа
RCU	Reference Clock Unit	Блок опорного синхронизирующего сигнала

RELP	Residual pulse Excitation Linear Prediction	Линейное предсказание с возбуждением по остаточному (усеченному) сигналу
RLA	Reverse Link Access	Линия доступа в обратном соединении
RLC	Radio Link Control	Управление радиоканалом (звеном)
RLT	Reverse Link Training	Проверка (тренировка) обратного соединения
RNC	Radio Network Controller	Контроллер радиосети
RNS	Radio Network System	Система радиосети
RNSAP	Radio Network Subsystem Application Part	Прикладная подсистема радиосети
ROLPC	Reverse Outer Loop Power Control	Обратное управление мощностью по внешнему циклу
RPE	Regular Pulse Excitation	Возбуждение регулярной импульсной последовательностью
RRC	Radio Resources Control	Управление радиоресурсами
RRM	Radio Resources Management	Управление радиоресурсами (администрирование)
RSA	Rivest, Shamir, Adelman	Метол шифрования с помощью общедоступного ключа
RTCH	Reverse Traffic Channel	Канал обратного трафика
RTG	Receive/ Transmit Guard period	Промежуток прием/передача
RUIM	Removable User Identify Module	Сменный модуль идентификации пользователя
SAAL NNI	Signaling AAL NNI	Уровень адаптации ATM для сигнализации «сеть–сеть»
SAAL UNI	Signaling AAL UNI	Уровень адаптации ATM для сигнализации «пользователь–сеть»
SABM	Set Asynchronous Balanced Mode	Установление сбалансированного асинхронного режима
SACCH	Slow Associated Control Channel	Низкоскоростной совмещенный канал управления
SB	Synchronization Burst	Слот синхронизации
SCCP	Signaling Connection Control Part	Подсистема управления соединением канала сигнализации
SCCPCH	Secondary Common Control Physical Channel	Вторичный общий физический канал управления
SCH	Synchronizing Channel	Канал синхронизации
SCTP	Stream Control Transmission Protocol	Транспортный протокол управления потоком
SDCCH	Stand-alone Dedicated Control Channel	Автономный выделенный канал управления
SDU	Service Data Unit	Сервисный блок данных
SGSN	Serving GRPS Support Node	Узел обслуживания с поддержкой GPRS
SHA	Secure Hash Algorithm	Защищенный алгоритм хэширования
SHCCH	Shared Control Channel	Общедоступный канал управления
SID	Service Flow ID	Идентификатор служебного потока
SIM	Subscriber Identify Module	Модуль идентификации абонента
SIMO	Single-Input Multi-Output	Система с одним входом и многими выходами
SLA	Service Level Agreement	Соглашение о гарантированном уровне обслуживания

SM	Spatial Multiplexing	Пространственное мультиплексирование
SMS	Short Massage Service	Служба передачи коротких сообщений
S-OFDMA	Scalable OFDMA	Наращиваемый OFDMA
SRCH_WIN	Search Windows	Окно поиска
SRES	Signed Response	Зашифрованный отклик
SRNC	Service RNC	Обслуживающий RNC
SS	Spreading Spectrum	Расширение спектра
SSCH	Second Synchronizing Channel	Вторичный канал синхронизации
SSD	Shared Secret Date	Общие секретные данные
SSS	Switching Subsystem	Коммутационная подсистема
STG	Spase Time Coding	Пространственно-временно́е кодирование
SU	Selector Units	Устройство выбора блоков
TACS	Total Access Communications System	Система связи с полным доступом
TB	Tail Bit	Концевой бит
TCAP	Transaction Capabilities Application Part	Подсистема управления возможностью транзакций прикладного уровня
TCE	Transcoder Equipment	Транскодерное оборудование
TCH	Traffic Channel	Канал трафика
TCH/F	Traffic Channel/Full	Канал трафика, работающий на полной скорости
TCH/H	Traffic Channel/Half	Канал трафика, работающий на половинной скорости
TCP/IP	Transmission Control Protocol/ Internet Protocol	Протокол управления передачей данных/ Интернет протокол
TDD	Time Division Duplex	Дуплексная передача с временным разделением
TDMA	Time Division Multiple Access	Многостанционный доступ с временным разделением
THCDMA	Time Hopping CDMA	CDMA с псевдослучайной перестройкой во времени
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity	Вре́менный опознавательный код (идентификационный номер) мобильного абонента
TRG	Transmit/Receive Guard period	Промежуток передача/прием
UA	Unnumbered Acknowledge	Ненумерованное подтверждение
UDI	Unrestricted Digital Information	Неструктурированная цифровая информация
UE	User Equipment	Пользовательское оборудование
UL	Uplink	Линия «вверх», направленная от мобильной станции к базовой
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	Универсальная мобильная телекоммуникационная система
	Universal Mobile Telecommunications Services	Универсальные услуги систем мобильной связи
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network	Сеть наземного радиодоступа UMTS
UWC-136	Universal Wireless Communication 136	Проект стандарта систем 3-го поколения на основе проекта EDGE

VAD	Voice Activity Detection	Обнаружение голосовой активности
VLR	Visit Location Register	Визитный регистр местоположения
WAL	Walsh	Функция Уолша
WCDMA	Wideband CDMA	Широкополосный CDMA
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access	Всемирный доступ для взаимодействия микроволновых сетей
	Wireless MAN Exhange	Беспроводная городская сеть обмена сообщениями

БПФ	Быстрое преобразование Фурье
ОБПФ	Обратное быстрое преобразование Фурье
ПСП	Псевдослучайная последовательность

ОБ АВТОРЕ

Берлин Александр Наумович, профессор, доктор технических наук.

После окончания в 1959 году ЛЭИС им. проф. М.А. Бонч-Бруевича работал в Научно-производственном объединении «Красная Заря». Занимался созданием координатных, квазиэлектронных, электронных и цифровых систем коммутации. В 1965 году защитил кандидатскую, в 1984 — докторскую диссертации, посвященные синтезу устройств и программ в коммутационных системах.

С 1991 года работал в С.-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. С 1993 по 2001 год заведовал кафедрой систем распределения информации.

Имеет большой опыт научных исследований, разработки и эксплуатации систем коммутации. Опубликовал более 50 работ, посвященных теоретическим вопросам разработки средств телекоммуникаций, в том числе книги «Алгоритмическое обеспечение АТС», «Синтез логических устройств в коммутационной технике», «Универсальная программа и принципы ее применения», «Коммутация в системах и сетях связи», под его редакцией (совместно с Ю.Н. Чернышовым) вышла на русском языке классическая монография Д. Беллами «Цифровая телефония».

В настоящее время работает над серией учебников и учебных пособий, посвященных широкому кругу проблем телекоммуникаций.

SCAN BY x40

Издание для специалистов

Александр Наумович Берлин

ЦИФРОВЫЕ СОТОВЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

ЛР № 065232 от 20.06.97
Подписано в печать с сригинал-макета 20.08.2007.
Формат 70×100/16. Тираж 2000 экз.
Бумага офсетная № 1. Гарнитура таймс.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 23,9. Заказ № 1497
Информационно-технический центр «Эко-Трендз».
Отпечатано в ППП «Типография «Наука»,
121099, Москва, Шубинский пер., 6

ЭКО-ТРЕНДЗ
Информационно-технический центр

ИНЖЕНЕРНАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ
ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Книги издательства «Эко-Трендз» — Инженерная энциклопедия ТЭК

Технологии Электронных Коммуникаций

Бакланов И.Г. ТЕСТИРОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА СИСТЕМ СВЯЗИ
Бакланов И.Г. ТЕХНОЛОГИИ ИЗМЕРЕНИЙ ПЕРВИЧНОЙ СЕТИ
Часть 1. Системы E1, PDH, SDH
Часть 2. Системы синхронизации B-ISDN, ATM
Беллами Д. ЦИФРОВАЯ ТЕЛЕФОНИЯ (перевод с англ.)
Берлин А.Н. КОММУТАЦИЯ В СИСТЕМАХ И СЕТЯХ СВЯЗИ
Берлин А.Н. ЦИФРОВЫЕ СОТОВЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ
Власов В.Е. КАБЕЛИ СКС НА СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ: ТЕОРИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, ПРИМЕНЕНИЕ
Власов В.Е., Парфенов Ю.А. КАБЕЛИ ЦИФРОВЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ
Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ: БАЗОВЫЕ МЕТОДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ
Воробьев А.В. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ
Воронцов А.С. и др. ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ СВЯЗИ РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА
Гребешков А.Ю. СТАНДАРТЫ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЯМИ СВЯЗИ
Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А. СЕТИ И СИСТЕМЫ РАДИОДОСТУПА
Голяницкий И.А. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ В РАДИОСВЯЗИ
Громаков Ю.А., Голяницкий И.А. Шевцов В.А. ОПТИМАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РАДИОСИГНАЛОВ БОЛЬШИМИ СИСТЕМАМИ
Громаков Ю.А., Северин А.В., Шевцов В.А. ТЕХНОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ В GSM И UMTS
Довгий С.А. и др. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ И ЭКОНОМИКА
Иванова Т.И. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕЛЕФОНИИ
Игнатов А.Н. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА
Карташевский В.Г. и др. ЦИФРОВЫЕ АТС ДЛЯ СЕЛЬСКОЙ СВЯЗИ
Колтунов М.Н., Рыжков А.В., Давыдкин П.Н. ТАКТОВАЯ СЕТЕВАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ
Лагутенко О.И. СОВРЕМЕННЫЕ МОДЕМЫ
Лихтциндер Б.Я. и др. МУЛЬТИСЕРВИСНЫЕ АТМ-СЕТИ
Муссель К.М. ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ И БИЛЛИНГ УСЛУГ СВЯЗИ
Парфенов Ю.А. КАБЕЛИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ
Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г. ЦИФРОВЫЕ СЕТИ ДОСТУПА
Резникова Н.П. МАРКЕТИНГ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ
Резникова Н.П. и др. МЕНЕДЖМЕНТ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ
Росляков А.В. ВИРТУАЛЬНЫЕ ЧАСТНЫЕ СЕТИ
Росляков А.В., Самсонов М.Ю., Шибаева И.В. ЦЕНТРЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВЫЗОВОВ (CALL CENTRE)
Соловьев Ю.А. СПУТНИКОВАЯ НАВИГАЦИЯ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ
Сухман А.В., Бернов А.В., Шевкопляс Б.В. СИНХРОНИЗАЦИЯ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ
ТВОРЦЫ РОССИЙСКОЙ РАДИОТЕХНИКИ. *Под ред. М.А. Быховского*
Тихвинский В.О., Терентьев С.В. УПРАВЛЕНИЕ И КАЧЕСТВО УСЛУГ В СЕТЯХ GPRS/UMTS
Чаадаев В.К. БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ В КОМПАНИЯХ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ
Чаадаев В.К., Шеметова И.В., Шибаева И.В. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КОМПАНИЙ СВЯЗИ. СОЗДАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ

✉ 127473, Москва,
2-й Щемиловский пер., д. 5/4, стр. 1,
ИТЦ «Эко-Трендз»

Тел./факс: (499) 978-4836, 978-8031
E-mail: izdat@ekot.ru, office@ekot.ru
eko-trendz@mtu-net.ru
http://www.ekot.ru

$$T_x = \Delta R_x + \left(P_{\text{i oì}} - \sum_{i=0}^{15} \Delta_i P \right) + Ð_0,$$



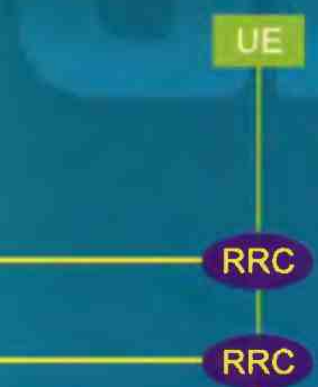
БЕРЛИН Александр Наумович
профессор, доктор технических наук.

Известный специалист в области телекоммуникаций. Многие годы занимался созданием систем коммутации нескольких поколений в Научно-производственном объединении «Красная Заря».

С 1993 по 2001 год заведовал кафедрой систем распределения информации в ЛЭИС им. проф. М.А. Бонч-Бруевича.

Автор многих печатных работ, в том числе четырёх книг, под его редакцией (совместно с Ю. Н. Чернышовым) вышла на русском языке классическая монография Д. Беллами «Цифровая телефония».

В настоящее время работает над серией учебников и учебных пособий, посвящённых широкому кругу проблем телекоммуникаций.



ISBN 978-5-88405-087-7

$$C_{ij} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} W_i(t) W_j(t-\tau) dt.$$