

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное
образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»**

В. И. Данилов

СЕТИ И СТАНДАРТЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

СПб ГУТ)))

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2015**

УДК 621.396(075.8)
ББК 32.884.1я73
Д18

Рецензенты:
кандидат технических наук,
профессор кафедры сетей связи и передачи данных СПбГУТ
В. Х. Харитонов,
доктор технических наук, главный научный сотрудник ЛО ЦНИИС
Н. А. Соколов

*Утверждено редакционно-издательским советом СПбГУТ
в качестве учебного пособия*

Данилов, В. И.
Д18 Сети и стандарты мобильной связи : учебное пособие / В. И. Данилов ; СПбГУТ. – СПб., 2015. – 100 с.

Посвящено рассмотрению принципов построения и функционирования сетей мобильной связи общего пользования различных стандартов (GSM, UMTS, LTE).

Определены основные проблемы, возникающие при создании систем мобильной связи и вводе их в эксплуатацию. Основное внимание уделено решению данных проблем в стандартах GSM/GPRS и LTE.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 11.04.02 и 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», а также для студентов, магистров, аспирантов и специалистов, занимающихся вопросами организации мобильной связи общего пользования.

**УДК 621.396(075.8)
ББК 32.884.1я73**

© Данилов В. И., 2015

© Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ	9
1.1. Основные проблемы использования радиоканалов	9
1.2. Основные проблемы обеспечения персональной мобильности	14
2. СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА GSM	19
2.1. Архитектура сети мобильной связи стандарта GSM	19
2.2. Нумерация в сети стандарта GSM	23
2.3. Процедуры в сети GSM	26
2.4. Исходящий вызов от MS	31
2.5. Входящий вызов к MS	32
2.6. Радиоинтерфейс GSM	33
2.7. Сигнализация в сети GSM	44
2.8. Технология GPRS	47
3. СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА UMTS	51
4. СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА LTE	56
4.1. Архитектура сети мобильной связи стандарта LTE	60
4.2. Идентификаторы в сети LTE	63
4.3. Интерфейсы сети LTE	69
4.3.1. <i>Интерфейс U_U</i>	69
4.3.2. <i>Интерфейс X₂</i>	85
4.4. Обеспечение безопасности в сети LTE	87
4.4.1. <i>Взаимная аутентификация и соглашение о ключах</i>	87
4.4.2. <i>Закрытие (шифрация) и обеспечение целостности информации</i>	90
Список сокращений	94
Список литературы	99

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, основным «товаром», предлагаемым абонентам операторами связи, является перечень услуг по обмену, получению, передаче и хранению информации в определенном виде: звук (речь, музыка), изображение (неподвижные, подвижные) и т. д. При этом большое значение имеет насколько это просто и удобно для абонента.

Перечень услуг, доступных абоненту, зависит, с одной стороны, от функциональных возможностей терминального оборудования, принадлежащего абоненту, с другой стороны, от функциональных возможностей оператора связи.

В свою очередь, функциональные возможности как терминального оборудования, так и сети **определяются уровнем развития технологий на момент принятия решения** о создании той или иной услуги. Немаловажное значение имеет уже созданная телекоммуникационная структура. И каждый оператор связи вынужден решать, какие технологии использовать для модернизации существующей или создания новой телекоммуникационной структуры при расширении спектра услуг. Это требует очень больших капитальных затрат, особенно для операторов сетей общего пользования. Поэтому на сетях общего пользования используются технологии нескольких поколений, взаимодействующие между собой.

Следует отметить, что до начала 1980-х гг. существовали только сети общего пользования «фиксированной связи». В данных сетях окончательный терминал буквально «привязан» абонентской линией с уникальным номером к конкретному узлу коммутации (географическая система нумерации). Абонентская линия выделялась конкретному абоненту, т. е. являлась индивидуальным ресурсом и использовалась абонентом только около 20 % времени. При перемещении абонента туда, где ему недоступна выделенная абонентская линия, невозможно маршрутизировать к нему входящие вызовы по его индивидуальному (персональному) номеру. То есть он остается без связи. Указанный недостаток можно устранить, используя на сети абонентского доступа радиоканал. Возможность использования радиоволн для связи между подвижными объектами в истории радиосвязи была найдена уже давно. Известно, например, что радиосвязь использовалась для связи полицейских патрульных машин еще в 1920 г. Идея же подключения радиозвона к стационарной телефонной сети была разработана в середине 40-х гг. XX в. Учитывая ограниченный ресурс радиоканалов и сложность автоматизации процессов обслуживания вызовов в тот период развития техники электросвязи, применялся ручной способ предоставления радиоканалов для ограниченного числа абонентов и на небольшой территории. Однако это можно считать началом внедрения функции мобильности в фиксированные сети электросвязи.

Первая подобная советская система радиотелефонной связи «Алтай» начала эксплуатироваться в середине 1960-х гг. Емкость ее составляла порядка 20 тыс. абонентов. В силу ограниченности емкости она не использовалась для сети общего пользования.

Дальнейшему развитию систем связи с подвижными объектами способствовало освоение УКВ диапазона, где распространение радиосигнала осуществляется только в зоне прямой радиовидимости, а также появление более совершенной элементной базы. Настоящий прорыв стал возможен благодаря изобретению сотовой связи.

В настоящее время, говоря о сотовой связи, общепринято выделять различные поколения реализованных систем, как это показано на рис. В1.

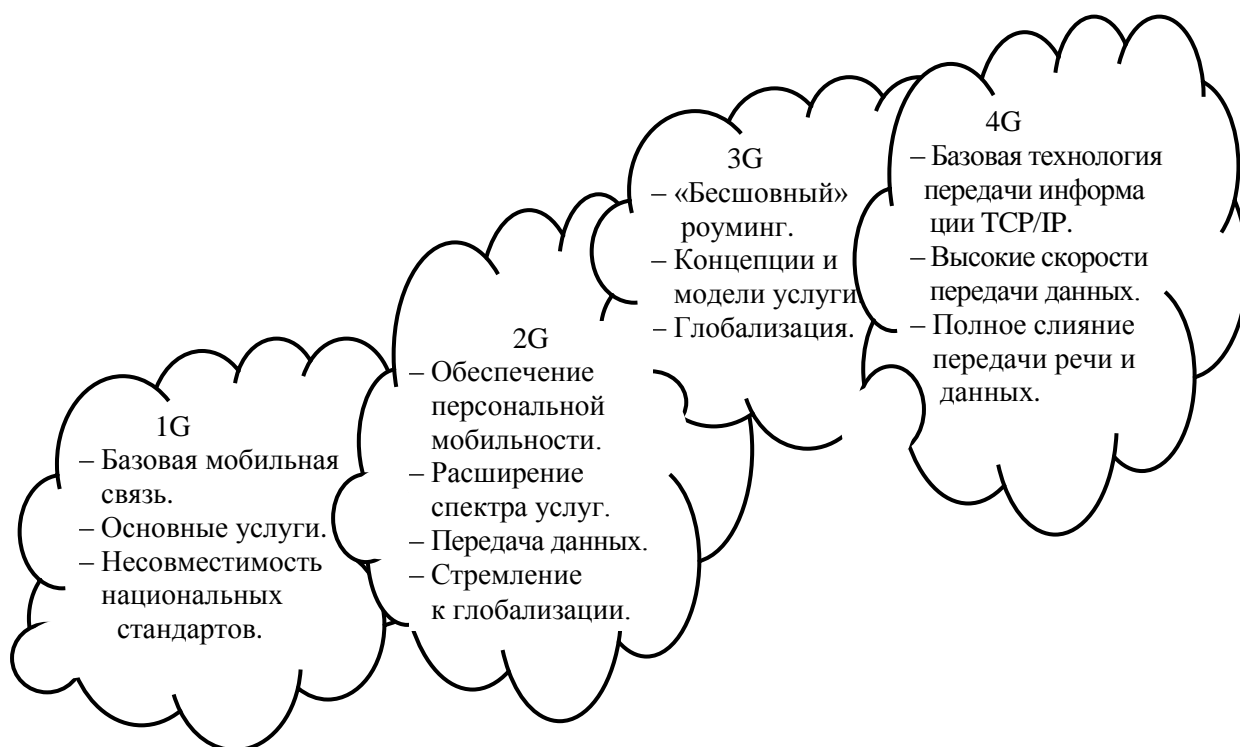


Рис. В.1

Следует отметить, что все вышеуказанные поколения, в основном, характеризуют эволюцию сети радиодоступа. Каждое следующее поколение использует более современные технологии, позволяющие повысить спектральную эффективность радиоканалов и их пропускную способность.

К первому поколению (1G) относятся аналоговые или полу-аналоговые (аналоговый радиотракт, цифровая коммутация) сети мобильной связи. Созданные в середине 1980-х гг., они явились логическим продолжением ТФОП – телефонной сети общего пользования (PSTN – Public Switched Telephone Network). Яркими представителями систем данного поколения являются NMT450 (Nordic Mobile Telephone) и AMPS (Advanced Mobile Phone System). Сети поколения 1G создавались только в масштабах

одной страны в соответствии с национальными техническими требованиями, что приводило к несовместимости этих сетей. Кроме того, выявился и ряд существенных недостатков, например, таких, как обеспечение конфиденциальности и защита от несанкционированного доступа. Однако, несмотря на это, спрос на мобильную связь превысил все ожидания.

Рост спроса на мобильную связь и выявленные недостатки систем 1G привели к необходимости создания системы мобильной связи второго поколения (2G). При этом акцент делался на совместимость с уже существующей сетью фиксированной связи ЦСИО – цифровой сетью интегрального обслуживания (ISDN – Integrated Services Digital Network) и международную прозрачность. То есть стандарт 2G должен был быть единым для многих стран, например охватывать всю Европу. Наиболее распространенным стандартом 2G, имеющим небывалый коммерческий успех, является стандарт GSM (Global System for Mobile communication). Следует отметить, что и в техническом плане он также превзошел все ожидания. В нем четко определены задачи и методы их решения при обеспечении персональной мобильности абонентам. И его можно считать фундаментом для разработки последующих стандартов.

Процесс глобализации мобильной связи призван завершить системы третьего поколения (3G). Создание единой глобальной системы порождает не только технические проблемы, но и политические. Термин 3G в разных частях мира имеет свои обозначения. Так, в США и Японии системы 3G обозначают как IMT-2000 (International Mobile Telephony 2000). Это обозначение предложено МСЭ – Международным союзом электросвязи (ITU – International Telecommunication Union). В Европе применяется термин UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), предложенный ETSI (European Telecommunications Standards Institute). В 1999 г. организации ряда стран, а именно:

- ETSI – Европа;
- ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) – Япония;
- CWTS (China Wireless Telecommunication Standard group) – Китай;
- T1 (Telecommunication) – США;
- TTA (Telecommunication Technology Association) – Корея;
- TTC (Telecommunication Technology Committee) – Япония;

договорились о создании общего стандарта UMTS.

Для работ по стандартизации 3G было создано партнерство 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Его задачей является разработка компромиссных стандартов с учетом политических, промышленных и коммерческих пожеланий от вышеперечисленных органов стандартизации. 3GPP определило следующие требования к системе мобильной связи 3G (UMTS):

- все технические характеристики системы должны быть четко определены, а интерфейсы должны быть открытыми и стандартизированными;

- система должна поддерживать мультимедийную среду со всеми ее компонентами;
- должна обеспечивать широкополосный доступ;
- быть совместимой с GSM и ISDN;
- услуги, предоставляемые конечному пользователю, не должны зависеть от технологий радиодоступа, а сетевая инфраструктура не должна ограничивать появление новых услуг.

Для реализации выработанных требований необходимы изменения не только в сети радиодоступа, но и в базовой сети. Так, в релизе R5 предложена архитектура базовой сети, получившая название IMS (IP Multimedia Subsystem).

Развитие фиксированной связи за счет внедрения широкополосного доступа, а соответственно, и расширения спектра услуг, вызывает необходимость совершенствования и систем мобильной связи. Работа в этом направлении 3GPP (подготовка релизов) показана на рис. В.2.

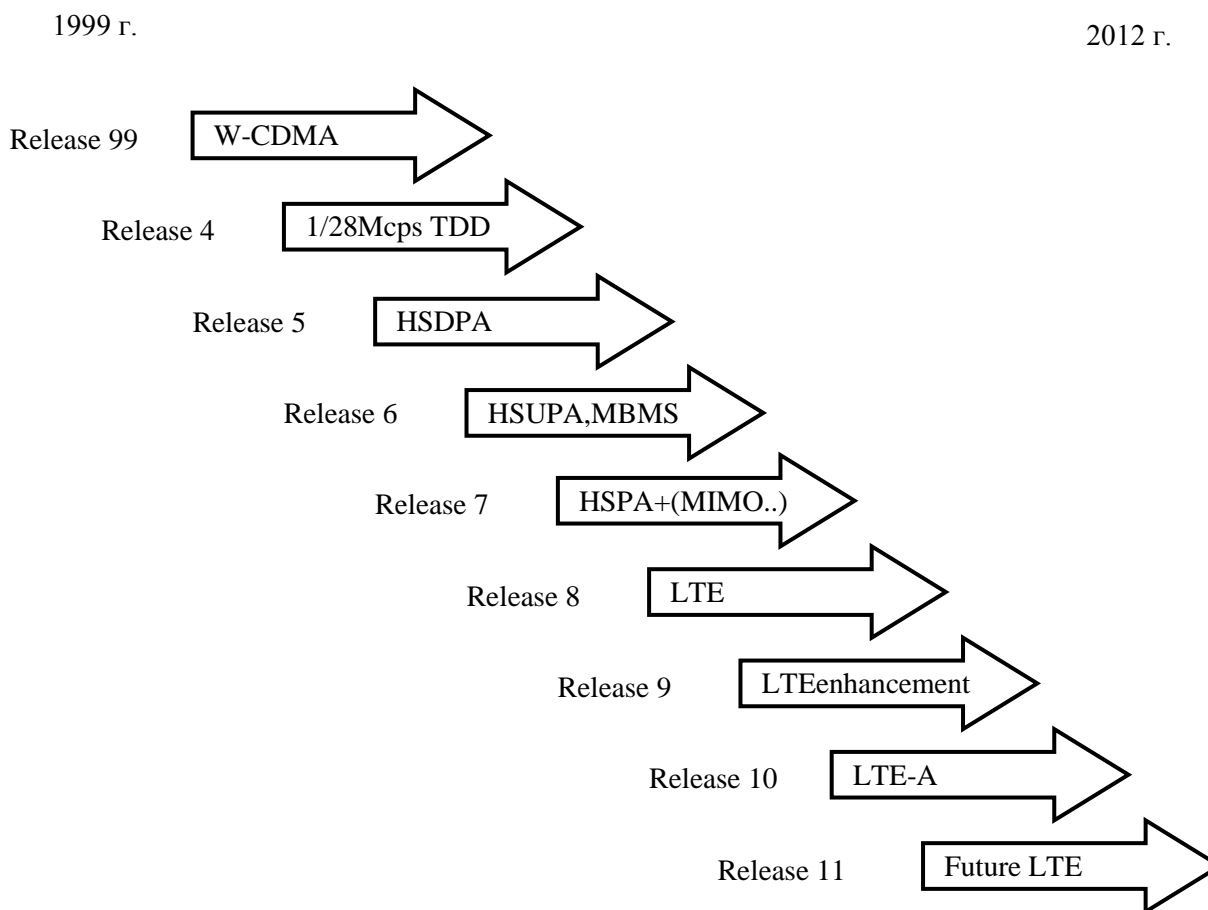


Рис. В.2

Современному человеку, а особенно подрастающему интернет-поколению, желательно иметь возможность широкополосного доступа везде, а не только дома или в офисе. Началом работ 3GPP над четвертым поколением

(4G) можно считать семинар по развитию сети радиодоступа, состоявшийся в ноябре 2004 г. в Торонто (Канада), где были сформулированы основные направления работ:

- снижение стоимости передачи бита информации;
- расширение спектра предоставляемых услуг с одновременным понижением их стоимости;
- динамическое использование предоставляемых спектров частот;
- упрощенная архитектура и открытые интерфейсы;
- оптимизированное энергопотребление пользовательских терминалов.

Таким образом, согласно определенной концепции развития, уже к весне 2005 г. 3GPP подготовило документ TR 25.913, содержащий требования к LTE (Long Term Evolution), т. е. к мобильным сетям 4G. Стандарты по построению сети 4G на базе технологии LTE были определены 3GPP в релизе 8.

Эволюция пропускной способности и спектральной эффективности различных поколений сотовой связи показана на рис. В.3

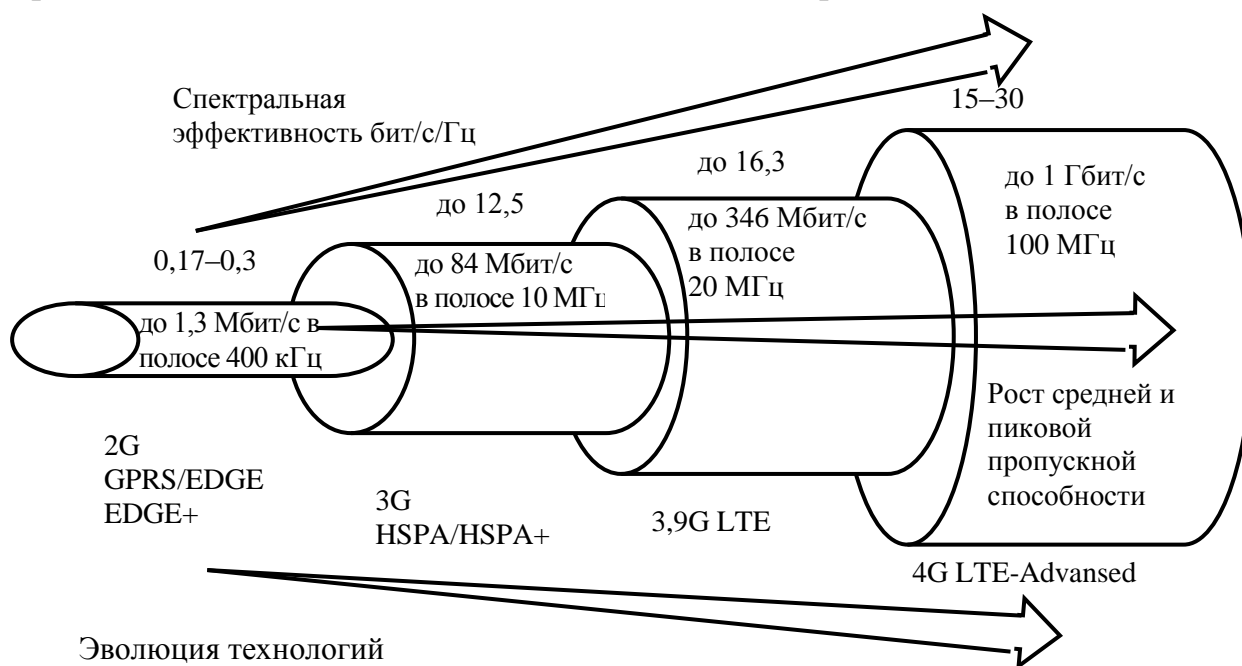


Рис. В.3

Учитывая то, что мобильная связь является логическим развитием фиксированной связи, в данном учебном пособии сделан акцент именно на тех дополнительных задачах, которые должны быть решены при внедрении услуги персональной мобильности в сетях общего пользования.

Для того чтобы разобраться в принципах построения и функционирования сотовых сетей связи различных поколений, необходимо понимание принципов построения и функционирования ТФОП/ЦСИО (PSTN/ISDN), NGN, IMS, IP-сетей.

1. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Данный раздел посвящен определению проблем, возникающих при использовании радиоканалов и обеспечении персональной мобильности в сотовых системах связи. Кроме того, рассмотрены возможные варианты решения данных проблем.

Использование радиоканалов на сети абонентского доступа ставит ряд проблем, которые можно разделить на три группы:

- ограниченность ресурса (доступного спектра частот);
- как обеспечить качество доставки информации аналогичное качеству, обеспечиваемому фиксированными сетями, где используются проводные средства;
- безопасность, т. е. обеспечение конфиденциальности передаваемой пользовательской информации и защита сети от несанкционированного доступа.

Под персональной мобильностью будем понимать возможность абонента получить доступ к услугам исходящей и входящей связи при фиксированном персональном номере, независимо от того, стационарен он или движется и где находится с географической точки зрения. То есть можно сказать, что в фиксированных сетях терминальное оборудование с уникальным номером подключено только к конкретному узлу коммутации, а в сотовых сетях общего пользования – к глобальной сети, и каждый узел коммутации этой сети обязан обслуживать вызовы, поступающие от данного терминального оборудования. Как в этом случае организовать абонентскую базу данных, какую информацию она должна содержать и как с ней работать?

1.1. Основные проблемы использования радиоканалов

Радиосигнал между приемо-передающей станцией сети, которую далее будем называть базовой станцией (БС), и терминальным оборудованием пользователя, которое далее будем называть подвижной станцией (ПС), распространяется со скоростью света. Напряженность принимаемого сигнала в основном зависит от расстояния в данный момент времени между БС и ПС, длины волны и параметров среды передачи. Параметры среды передачи, оказывающие влияние на распространение радиоволн, могут быть любые искусственные или естественные препятствия, например, здания, рельеф местности, погодные условия и т. д. Это влияние может приводить к изменению длины пути, фазы и времени распространения радиосигнала. В свою очередь, высота антенн, направление излучения и другие параметры БС оказывают собственное влияние.

Рассмотрение вопросов распространения радиосигналов и построения приемо-передающей радиоаппаратуры требуют значительного времени, специальных дисциплин и не входит в задачи данного учебного пособия.

Однако следует отметить, что факторы, влияющие на распространение радиосигнала, чрезвычайно динамичны, непредсказуемы и разнообразны. Несмотря на это, необходимо отсортировать и смоделировать эти факторы таким образом, чтобы их можно было преодолеть. Возьмем БС и ПС с фиксированной высотой антенн, и установим на ПС измерительную аппаратуру. В процессе эксперимента БС будет непрерывно передавать сигнал заданной мощности и частоты, а ПС с равномерной скоростью и прямолинейно удаляться от БС, при этом измеряется напряженность поля (H) и расстояние от БС (d). По результатам измерений построим зависимость H от d , которая представлена на рис. 1.1.

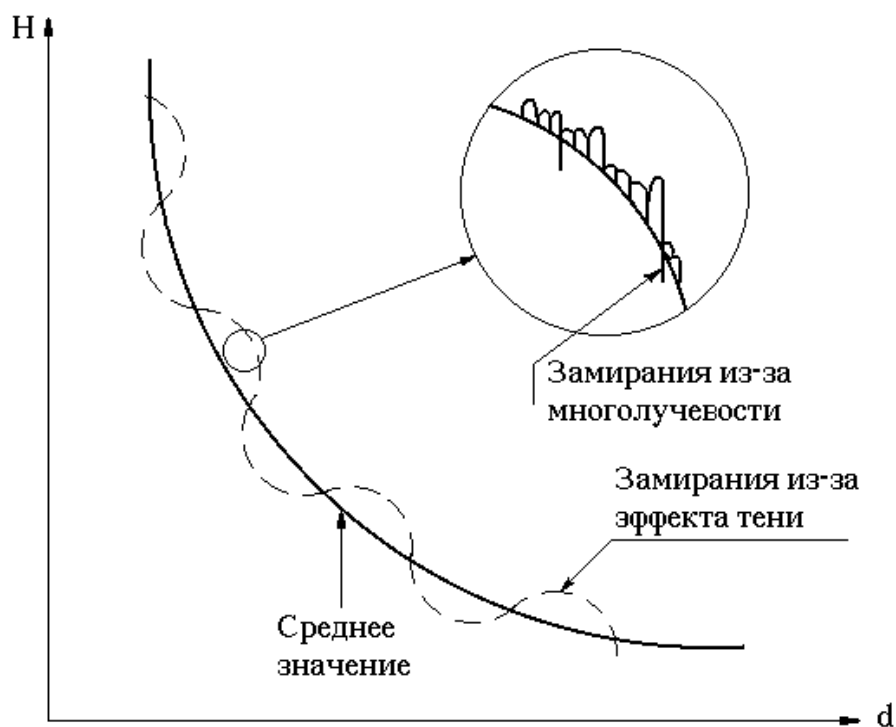


Рис. 1.1

Как видно из рисунка, по мере удаления ПС от БС напряженность поля убывает, и данная зависимость не является плавной. Кроме того, если изменить частоту или скорость движения ПС, зависимость значительно изменится, но характер ее останется прежним. Изменение среднего значения напряженности поля в зависимости от расстояния между ПС и БС будем называть затуханием, а всплески замираниями.

В общем виде затухание при отсутствии помех может быть выражено так:

$$\frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{пер}}} = \frac{1}{(4\pi df/c)^2} = \frac{1}{[4\pi(d/\lambda)]^2},$$

где $P_{\text{пр}}$ – мощность сигнала, принятого ПС,

$P_{\text{пер}}$ – мощность сигнала, передаваемого БС,

d – расстояние ПС от БС,

f – частота сигнала,

c – скорость света.

Как видно из приведенной зависимости, величина затухания обратно пропорциональна квадрату частоты сигнала и квадрату расстояния ПС от БС. Учитывая это, чтобы компенсировать влияние изменения затухания радиосигнала на качество передачи, необходимо контролировать мощность радиосигнала (напряженность поля) и изменять мощность передатчика или чувствительность приемника.

Замирания, т. е. снижение мощности сигнала, могут возникать либо из-за эффекта тени, либо из-за многолучевости. Эффект тени вызывается препятствиями (здания, горы и т. д.), нарушающими прямую радиовидимость между БС и ПС, как это показано на рис. 1.2.

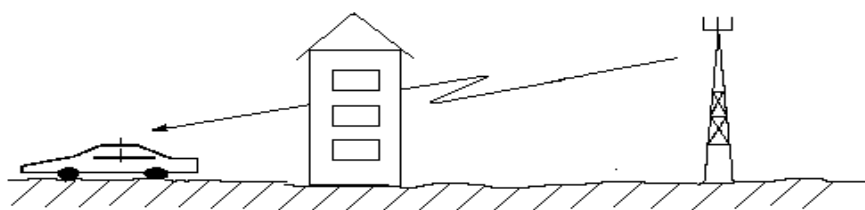


Рис. 1.2

Замирания из-за многолучевости обусловлены сигналами, отраженными от внешних объектов. В результате этого приемник ПС принимает несколько однотипных, но сдвинутых по фазе сигналов (рис. 1.3), что приводит к ослаблению основного сигнала. При этом возможен случай, когда основной сигнал и отраженный равны по мощности, но находятся в противофазе, и это приведет к тому, что результирующий сигнал будет равен нулю, т. е. произойдет прерывание связи.

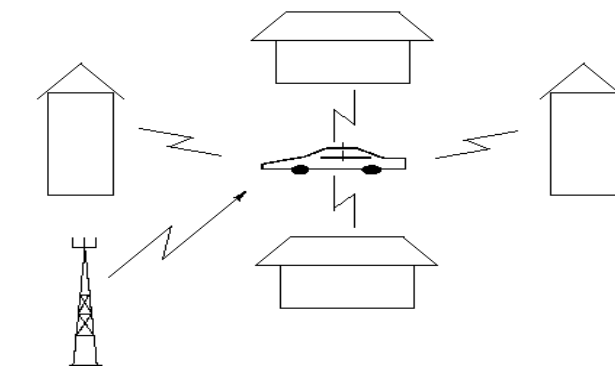


Рис. 1.3

Возможные потери информации требуют разработки механизмов их обнаружения и восстановления.

Как известно, основным способом восстановления является использование корректирующих кодов и повторная передача неправильно принятой информации. Отраженные сигналы могут вызывать не только замирения, но и

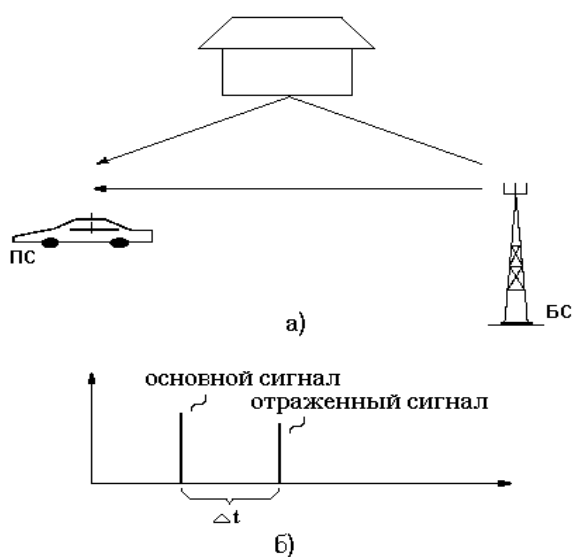


Рис. 1.4

временную дисперсию, если объект, от которого отражается сигнал, находится на расстоянии в несколько километров (рис. 1.4, а). И так как основной и отраженный сигналы проходят разные пути, моменты их поступления в приемное устройство могут быть сдвинуты относительно друг друга на Δt (рис. 1.4, б), что затрудняет принятие решения о поступившем сигнале. Оптимальный прием можно обеспечить при адаптации приемника к используемому каналу, выступающему как фильтр сигнала, т. е. необходимо иметь математическую

модель канала и в соответствии с ней подстраивать приемник.

Кроме вышеперечисленных факторов, влияющих на качество передачи информации на участке ПС–БС, следует учитывать интерференцию сигналов и эффект Доплера.

Интерференция сигналов обусловлена неидеальностью аппаратной реализации приемо-передающих радиосредств ПС и БС. По сути дела, радиосредства ПС и БС автономны и каждое из них имеет свое генераторное оборудование. При этом передающее оборудование одного из них создает радиоканал (определяет полосу частот), а выделяет (расфильтровывает) приемное оборудование другого. Под эффектом Доплера понимается изменение частоты и длины волны в зависимости от скорости перемещения приемного или передающего оборудования.

Основными способами борьбы с этими факторами, влияющими на качество передачи информации, является подстройка частоты генераторного оборудования ПС под частоту БС и увеличение расстояния между радиоканалами (полосами частот), которыми оперирует конкретная БС.

Таким образом, мы рассмотрели основные факторы, влияющие на качество передачи информации по радиоканалам и возможные методы их компенсации.

Теперь остановимся на проблеме ограниченности ресурса радиоканалов (доступного спектра частот). Как известно, абонентская линия в фиксированных сетях является индивидуальным ресурсом, выделяемым абоненту, и используется только порядка 20 % времени. В сотовых сетях связи

такой подход очень нерационален. Поэтому уже на начальных этапах развития мобильной связи закрепление канала на радиоучастке осуществлялось за вызовом, а не за абонентом. Это позволяет повысить коэффициент использования радиоканала по сравнению с фиксированными сетями минимум в четыре раза. Кроме того, для уменьшения требуемой пропускной способности необходимо применять эффективные методы «сжатия» информации, передаваемой по радиоканалам.

Однако основным методом эффективного использования доступного спектра частот стало повторное использование радиоканалов. Такая возможность появилась благодаря распространению радиосигнала УКВ диапазона только в зоне прямой радиовидимости.

Идея повторного использования радиоканалов очень проста. Пусть необходимо организовать мобильную связь большого города для миллионов абонентов при ограниченном ресурсе радиоканалов. Для решения поставленной задачи территория города разделяется на совокупность малых зон обслуживания, которые будем называть сотами, как это показано на рис. 1.5.

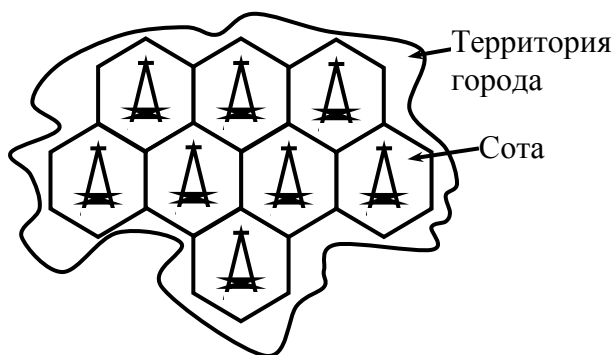


Рис. 1.5

Каждая из сот имеет свою БС, которая, используя маломощные сигналы, обеспечивает радиосвязь для абонентов, находящихся в данный момент в зоне ее обслуживания. При этом в зависимости от максимально возможного числа абонентов ей выделяется определенное число радиоканалов. Эти же радиоканалы могут быть повторно использованы другими БС. Однако при распределении радиоканалов в процессе проектирования следует не забывать о ранее рассмотренных факторах, влияющих на качество передачи информации. При проектировании вводится понятие «кластер» и коэффициент повторного использования частот. Под кластером понимается группа соседних сот, в пределах которых радиоканалы не повторяются. На рис. 1.6 показан кластер с коэффициентом повторного использования, равным 7.

Построение сети по сотовому принципу увеличивает эффективность использования спектра частот, а соответственно, и пропускную способность, особенно при повторном использовании радиоканалов с высоким коэффициентом.

Чем меньше размеры соты, тем более эффективно используется диапазон частот, но, соответственно, для покрытия одной и той же территории требуется больше БС, следовательно, увеличивается и стоимость системы.

Построение многоуровневой радиосети с макро-, микро- и пико-сотовой структурой позволяет усовершенствовать принцип сотовой структуры и повторного использования частот.

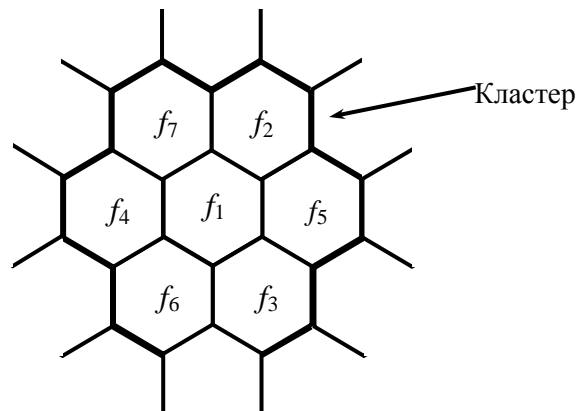


Рис. 1.6

Вопросы безопасности обусловлены свободным (бесконтрольным) доступом злоумышленников к эфиру. Для обеспечения конфиденциальности в сотовых сетях вынуждены прибегать к закрытию (шифрованию) передаваемой по радиоканалам информации. Кроме того, во избежание несанкционированного доступа к ресурсам сети необходимы механизмы проверки прав пользователя (аутентификация).

1.2. Основные проблемы обеспечения персональной мобильности

Так в чем же проблемы обеспечения персональной мобильности?

Абонент с подвижной станцией (ПС) может свободно перемещаться и ПС может находиться как в свободном активном состоянии, так и в состоянии реализации услуги, т. е. обмена пользовательской информацией. При этом между ПС и БС нет постоянно выделенного индивидуального ресурса.

Рассмотрим эти два возможных состояния ПС отдельно.

Когда ПС находится в состоянии реализации услуги, ей на время «жизни вызова» выделен сетевой ресурс. И задачей сети в этом случае является обеспечение качества передачи информации по выделенному ресурсу. Если при перемещении ПС качество передачи информации становится ниже допустимого, сеть должна выделить новый ресурс без перерыва сеанса связи.

Теперь пусть ПС свободна, активна и свободно перемещается. Как же может измениться состояние ПС и почему?

Во-первых, абонент может инициировать исходящий вызов. В этом случае ПС должна получить доступ к сети и запросить необходимый каналный ресурс для передачи информации узлу коммутации о запрошенной абонентом услуге. Во-вторых, сеть может инициировать входящий вызов к ПС. В этом случае, чтобы маршрутизировать входящий вызов к ПС с уникальным номером, сеть должна найти эту ПС, которая в общем случае может находиться в любой точке земного шара. Что же должна знать сеть, чтобы найти ПС для маршрутизации входящего вызова к ней, ведь уникальный номер ПС, в отличие от фиксированной сети, не содержит координат для определения требуемого маршрута. При этом необходимо помнить, что процесс маршрутизации аналогичен как для фиксированных, так и для сотовых сетей. Значит, сотовая сеть дополнительно должна знать адрес сети оператора, адрес узла и адрес соты, в зоне обслуживания которых в данный момент находится ПС. Понятно, что данная информация изменяется в зависимости от перемещения ПС.

Таким образом, основной проблемой обеспечения персональной мобильности является организация абонентской базы данных. Учитывая то, что сотовые сети являются логическим развитием фиксированных сетей, рассмотрим, как же можно модернизировать их системы коммутации с позиции организации абонентской базы данных. Как известно, цифровая система коммутации каналов в общем виде состоит из коммутационного обслуживания (КО) и подсистемы управления (ПУ).

Для реализации задач по процессу обслуживания вызовов ПУ содержит базу данных (рис. 1.7). При этом абонентские данные содержат информацию только об абонентских линиях, включенных в данный узел коммутации. Если не изменять архитектуру системы коммутации, то в сотовых сетях каждый узел коммутации должен содержать абонентские данные обо всех ПС глобальной сети. Создание таких баз данных не самая сложная задача. Сложность в том, что в этом случае необходимо оперативно осуществлять синхронизацию абонентских данных всех узлов коммутации глобальной сотовой сети при изменении состояния любой ПС.

Поэтому в сотовых системах связи абонентская база данных и программное обеспечение работы с ней отделены от узлов коммутации и вынесены в самостоятельную компоненту сети.

Возможны два варианта организации абонентской базы данных. При первом варианте для каждой конкретной сети операторов связи создается единая абонентская база данных ПС, с абонентами которых оператор данной сети заключил договор на предоставление услуг связи. Эта абонентская база данных содержит всю необходимую информацию для реализации услуг и обеспечения персональной мобильности всеми узлами коммутации глобальной сотовой сети (рис. 1.8). Такой подход накладывает довольно

жесткие требования к сети сигнализации, так как любое изменение состояния ПС требует обращения узла коммутации к абонентской базе данных, где зарегистрирована данная ПС.

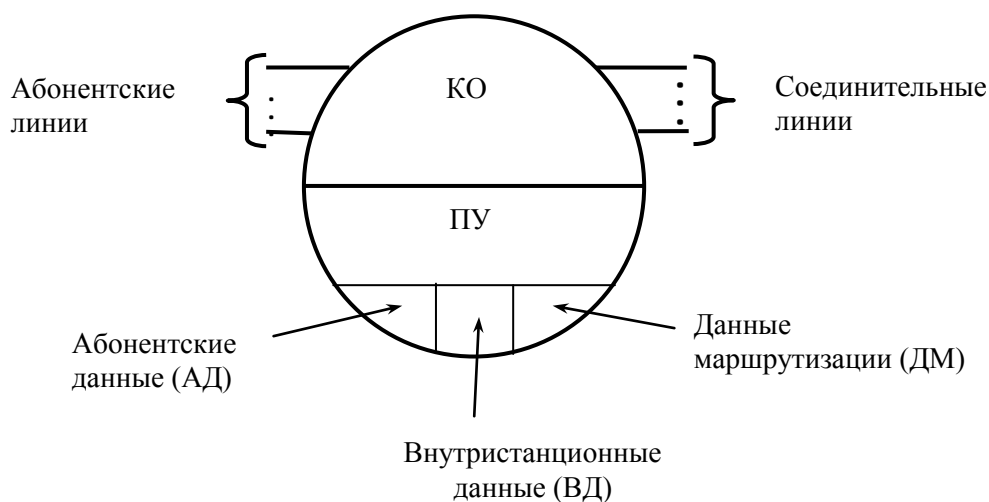


Рис. 1.7

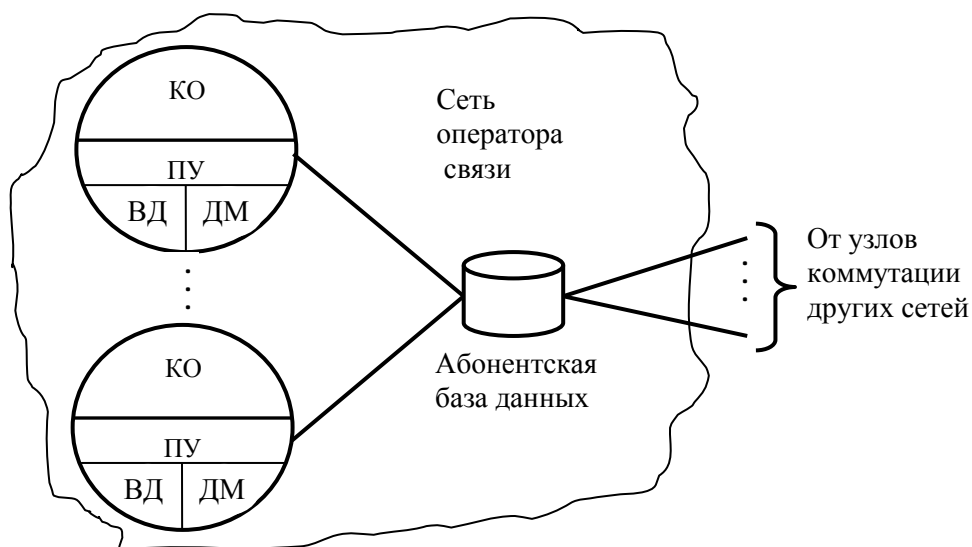


Рис. 1.8

Второй вариант организации абонентской базы данных позволяет уменьшить требования, предъявляемые к сети сигнализации. Учитывая то, что узлы коммутации отвечают как за реализацию услуг, так и за обеспечение персональной мобильности и вероятность того, что ПС переместится в зону обслуживания другого узла коммутации, не столь велика; для каждого из узлов коммутации возможно создание еще одной абонентской базы данных – оперативной. В этой базе данных будут данные ПС, которые в этот момент времени находятся в зоне обслуживания конкретного узла коммутации независимо от сети и оператора связи (рис. 1.9).

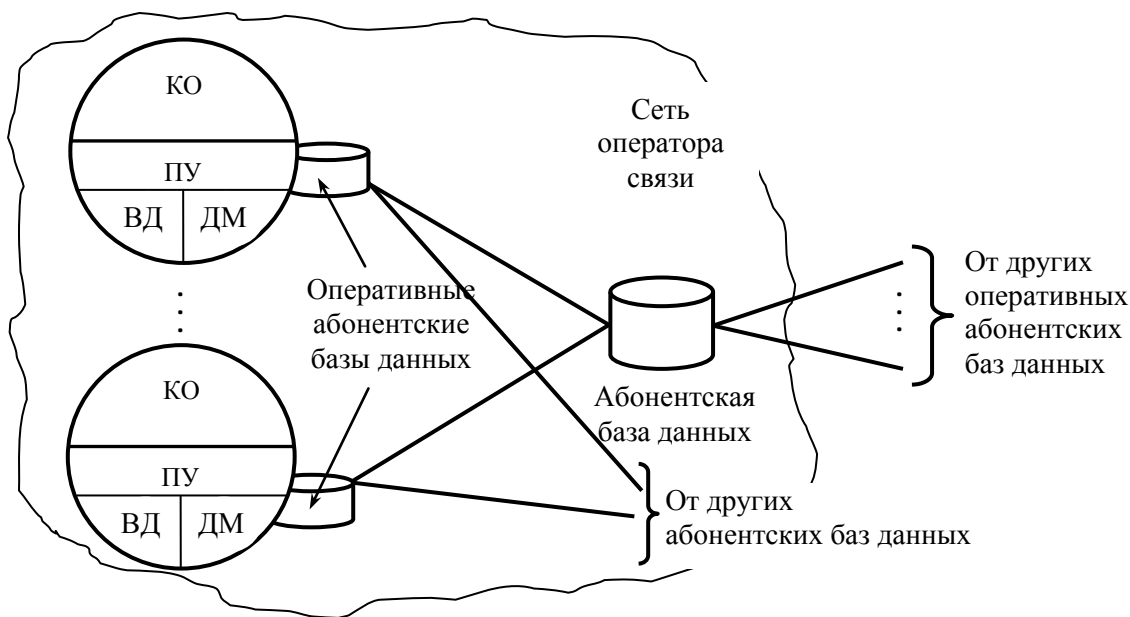


Рис. 1.9

Эти данные оперативные базы данных получают от абонентских баз сети оператора связи, с которым абонент заключил договор на предоставление услуг.

Таким образом, мы пришли к тому, что архитектура сотовых сетей связи будет отличаться от архитектуры сетей фиксированной связи, особенно в сети абонентского доступа.

Следует отметить, что при решении вышерассмотренных проблем изменилась не только архитектура сети, но и алгоритм взаимодействия ПС с сетью, т. е. появились новые процедуры, не присущие фиксированным сетям. Остановимся на назначении основных процедур.

Аутентификация – эта процедура обеспечивает проверку прав абонента на предоставление услуг.

Закрытие информации – процедура обеспечивает конфиденциальность при передаче информации.

Обновление данных местонахождения – процедура обеспечивает изменение данных о местонахождении ПС (адрес сети оператора, адрес узла коммутации, адрес соты) в абонентской базе данных при перемещении ПС в свободном активном состоянии. Для этого ПС должна иметь возможность постоянно контролировать свое местонахождение и при его смене информировать об этом сеть.

Поиск ПС – процедура обеспечивает информирование ПС о маршрутизации к ней входящего вызова.

Подключение/отключение – эти две процедуры осуществляют отметку в абонентской базе данных состояния ПС – активна или нет, так как, учитывая автономность ПС, абонент имеет возможность включить/выключить электропитание. Данные процедуры позволяют экономить ресурс сети при маршрутизации входящего вызова.

Переключение вызова – процедура обеспечивает требуемое качество передачи пользовательской информации по радиоканалам в процессе реализации услуги при перемещении ПС. Для этого необходимо постоянно контролировать качество передачи пользовательской информации по радиоканалу как в прямом, так и в обратном направлении (в восходящем и нисходящем радиоканале). Если качество передачи информации в прямом и обратном направлении ниже порогового, но есть доступный радиоканал, где качество передачи выше порогового, необходимо осуществить переключение вызова на этот радиоканал.

Перечень процедур, их наименование, алгоритм запуска и реализации четко определен в каждом конкретном стандарте.

2. СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА GSM

Инициаторами создания единого Европейского цифрового стандарта мобильной связи выступили Скандинавские страны, которые с этим предложением обратились в Европейскую Администрацию Почты и Электросвязи (CEPT – Conference of European Post and Telecommunications). В 1982 г. CEPT создало группу GSM – Group Special Mobile. Перед данной группой была поставлена задача разработки спецификаций единого европейского стандарта мобильной связи как логического развития ISDN. В 1989 г. эстафету по разработке стандарта приняла на себя ETSI – European Telecommunication Standards Institute. Таким образом, к концу 1980-х гг. ETSI подготовила необходимые рекомендации по новому стандарту GSM – Global System for Mobile Communications в диапазоне частот 900 МГц (890–960). Первый в мире звонок в системе GSM публично был сделан 1 июля 1991 г. в городском парке г. Хельсинки. Сегодня это событие считают днем рождения мобильной связи второго поколения (2G). И уже в 1991 г. 17 европейских стран приняли стандарт GSM.

2.1. Архитектура сети мобильной связи стандарта GSM

Архитектура системы мобильной связи стандарта GSM, предложенная ETSI, представлена на рис. 2.1. Рассмотрим ее компоненты и их назначение.

MS – Mobile Station. Подвижная станция (ПС), которая состоит непосредственно из оборудования MS и SIM (Subscriber Identity Mobile) карты. Оборудование MS приобретается абонентом, и оно имеет уникальный номер IMEI (International Mobile Equipment Identity), структура которого представлена на рис. 2.2.

SIM карта выдается абоненту при заключении договора с сетью оператора связи на предоставление услуг. SIM карта содержит информацию, позволяющую однозначно осуществлять процедуру аутентификации, например такую, как персональный номер и абонентский ключ K_i . То есть, когда мы говорим, что аутентифицируем абонента, мы понимаем, что аутентифицируем SIM карту.

MSC – Mobile Switching Centre. Узел коммутации стандартных цифровых каналов 64 кбит/с. Как и в фиксированных сетях ISDN, он реализует все функции по процессу обслуживания вызовов. Кроме того, на него возложены функции по обеспечению персональной мобильности. Его взаимодействие с внешним окружением осуществляется по цифровым соединительным линиям формата первичной ИКМ (рекомендации ITU G.703, G.704). Следует отметить, что часто эти линии определяют более общим термином ITU – «поток E1».

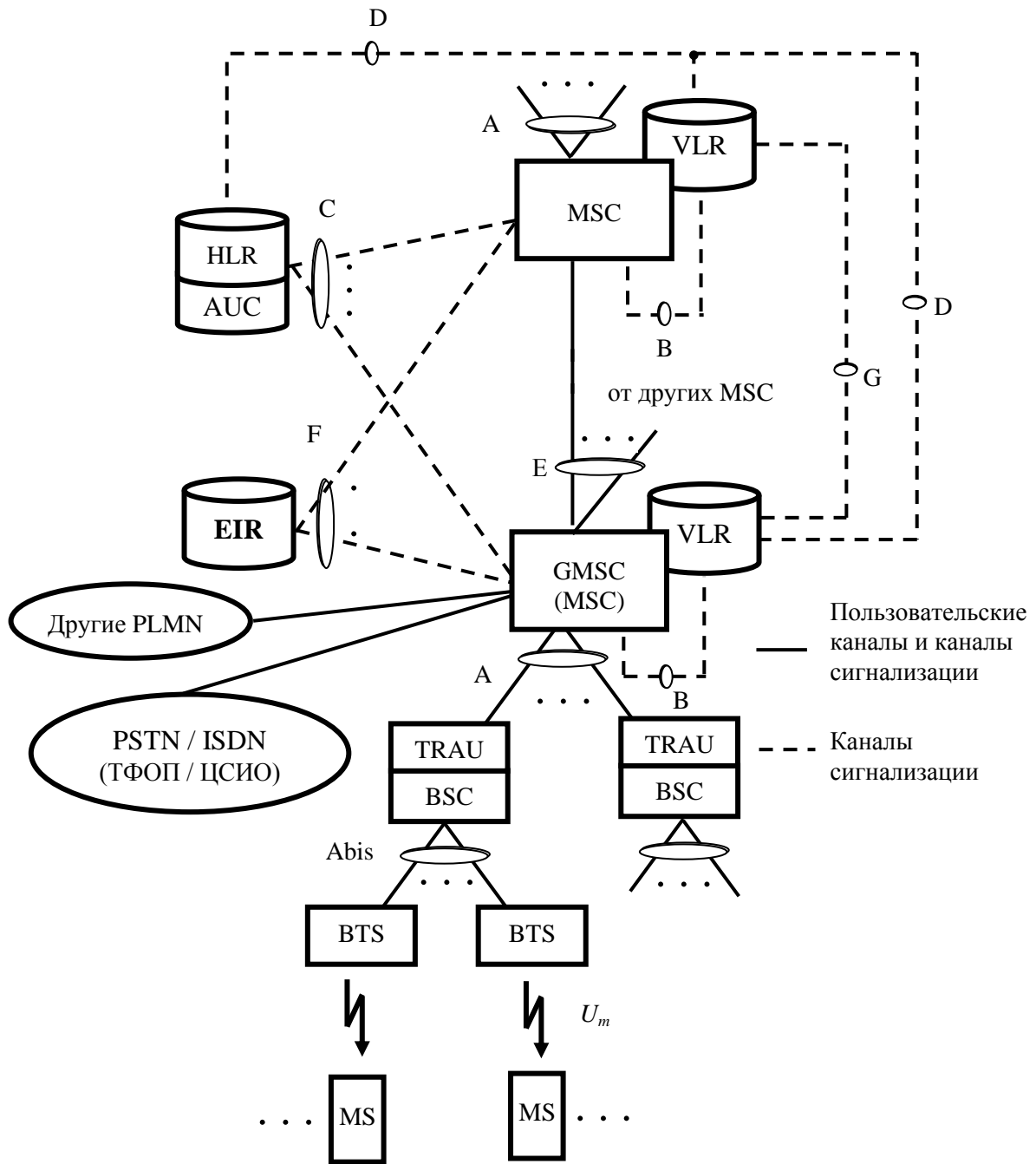


Рис. 2.1

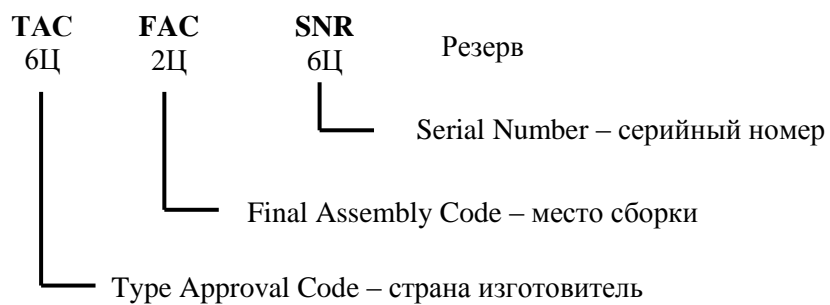


Рис. 2.2

GMSC – Gateway MSC. Транзитный узел коммутации, являющийся шлюзом для выхода на другие сети электросвязи с коммутацией каналов как фиксированной связи – PSTN/ISDN, так и мобильной связи – PLMN (Public Land Mobile Network).

HLR – Home Location Register. Регистр абонентских данных конкретной сети оператора связи. HLR содержит абонентские данные о MS только тех абонентов, которые заключили договор на предоставление услуг с данной сетью. Как известно, ни одна сеть в общем случае не реализует услугу в целом, ее реализуют все сети всех операторов связи. Но ответственность за качество предоставления услуг несет та сеть, с которой абонент заключил договор. Абонентские данные HLR содержат необходимую информацию об услугах, на которые подписался абонент, как это делалось и в фиксированных сетях. Кроме того, HLR хранит информацию, необходимую для обеспечения персональной мобильности, например такую, как персональный номер и абонентский ключ K_i , какому оперативно-му регистру абонентских данных MSC переданы данные о конкретной MS, подключена/отключена MS и т. д.

VLR – Visitor Location Register. Оперативный регистр абонентских данных MSC. VLR содержит данные о тех MS, которые находятся в данный момент времени в зоне обслуживания MSC, независимо от того, с какой сетью абонент заключил договор на предоставление услуг. Эти данные VLR, получаемых от HLR, VLR содержит информацию о местонахождении MS в пределах обслуживания MSC.

AUC – Authentication Centre. Центр аутентификации и закрытия информации. Задачей центра аутентификации является генерация триплет. Информация триплет используется MSC для аутентификации SIM-карты абонента и закрытия пользовательской информации, передаваемой по радиоканалу. Процесс генерации триплет показан на рис. 2.3: где K_i – абонентский ключ, хранящийся в HLR, RAND – случайное число, SRES (Signed Response) – маркированный отклик, K_c – ключ закрытия информации.

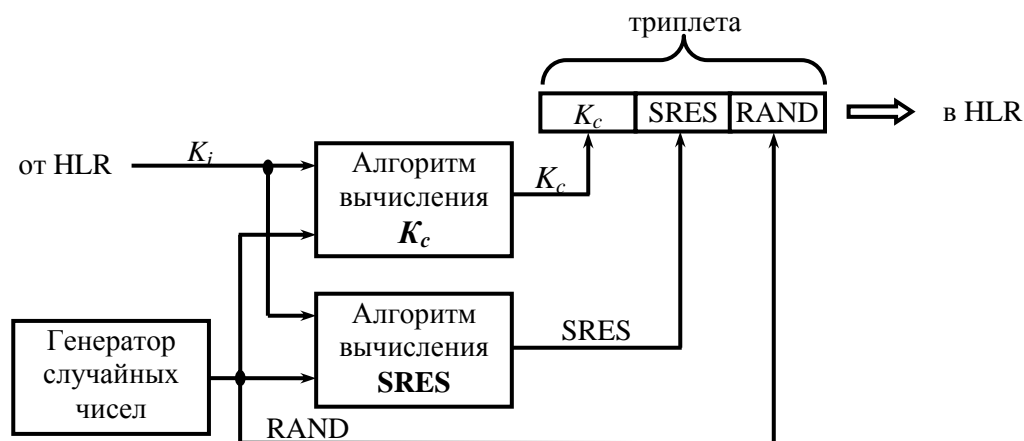


Рис. 2.3

EIR – Equipment Identity Register. Регистр идентификации оборудования. EIR содержит три списка номеров IMEI – белый, серый и черный. В белом списке содержатся номера IMEI, которые обслуживает сеть. Серый список включает в себя номера IMEI неисправных MS, и сеть их не обслуживает, так как не может гарантировать требуемое качество реализации услуг. Черный список содержит номера IMEI, которые сеть не обслуживает, так как данные MS, например, не сертифицированы или похищены злоумышленниками. Следует отметить, что EIR является не обязательной структурной компонентой, и многие операторы ее не используют.

BTS – Base Transceiver Station. Приемо-передающая базовая станция, основной задачей которой является переход с проводных средств передачи информации на радиоканал и обратно. При этом как в BTS, так и в MS должны быть решены проблемы, рассмотренные в разд. 1.1, для того чтобы обеспечить требуемое качество передачи информации по радиоканалу.

BSC – Base Station Controller. Контроллер базовых станций. Основной задачей контроллера является разгрузка MSC от функций процедуры переключения вызова (Handover). То есть BSC постоянно контролирует качество передачи информации в процессе реализации услуг, принимает решение о запуске процедуры переключения вызова и отвечает за ее реализацию. Для этого он имеет коммутационное оборудование, позволяющее осуществлять переключение пользовательских каналов от одной BTS к другой. Только при невозможности реализовать процедуру полностью (BTS находится в ведении другого BSC) он обращается к MSC.

TRAU – Transcoding and Rate Adaptation Unit. Транскодер обеспечивает преобразование речевой информации в полосе 0,3–3,4 кГц, передаваемой на радиоучастке со скоростью 13 кбит/с в стандартный цифровой канал 64 кбит/с и обратно. Это обусловлено тем, что в целях экономии радиоресурса ETSI использовал более совершенный кодек. Этот кодек (RPE/LTR-LPC) использует принципы вокодера, дифференциальной ИКМ, долговременного и кратковременного предсказаний. В результате кодирования отрезка речевого сигнала длительностью 20 мс получаем 260 бит, что и определяет требуемую скорость передачи в 13 кбит/с. Следует отметить, что BTS, BSC, TRAU вместе образуют базовую станцию BSS (Base Station System).

Таким образом, в отличие от фиксированных сетей в сотовых сетях общего пользования (PLMN), значительно изменилась архитектура и появилось множество компонент, которые обмениваются информацией в процессе реализации услуги. Для обмена информацией каждая из компонент должна быть однозначно идентифицирована, что требует четкого определения их зон обслуживания. Рекомендациями ETSI определены следующие зоны обслуживания:

– **Cell.** Сота. Под сотой понимается зона обслуживания одной BTS;

– **Location Area.** Зона местонахождения или поиска. Данная зона обслуживания введена для оптимизации сигнальной нагрузки, возникающей в процессе реализации двух процедур – обновления данных местонахождения и поиска. Она представляет собой совокупность смежных сот в пределах одного MSC. Минимальный размер Location Area – это сота, а максимальный – зона обслуживания MSC. В пределах Location Area MS может перемещаться в свободном активном состоянии без обновления данных в VLR и HLR. Однако при поиске MS все BTS этой зоны должны передавать адрес данной MS;

– **MSC Service Area.** Зона обслуживания MSC, которая является частью сети и MS, зарегистрированная в VLR данного MSC, может перемещаться в свободном активном состоянии в пределах этой зоны без передачи ее абонентских данных в другой VLR и изменения данных в HLR;

– **PLMN Service Area.** Зона обслуживания сотовой сети оператора связи, с которой абонент заключает договор на предоставление услуг, а абонентские данные заносятся в HLR;

– **GSM Service Area.** Зона обслуживания глобальной сети стандарта GSM, которая охватывает зоны обслуживания всех национальных сетей. При этом все национальные сети должны четко соответствовать стандарту GSM.

2.2. Нумерация в сети стандарта GSM

Как отмечалось ранее, сотовая сеть стандарта GSM является логическим продолжением фиксированной сети PSTN/ISDN. Для абонента PSTN/ISDN плюс GSM – единая телекоммуникационная структура. Следовательно, нумерация MS должна входить в уже существующий план нумерации PSTN/ISDN, т. е. E.164. Номер MS в системе E.164, принятой ITU, получил название MSISDN – Mobile Station ISDN Number. Использование системы нумерации E.164 в сотовых сетях стандарта GSM определены рекомендацией ITUE.213. Структура номера MSISDN представлена на рис. 2.4.

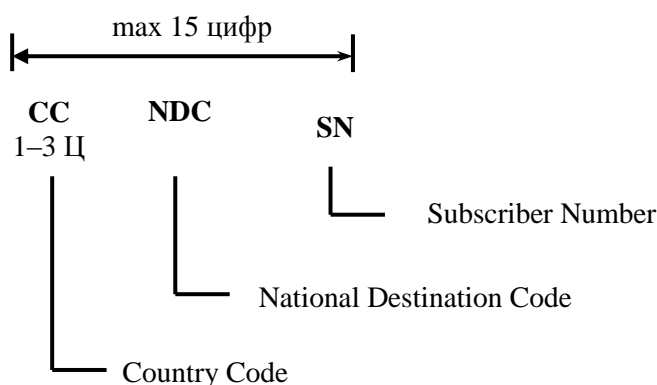


Рис. 2.4

Для России код страны (СС) является однозначным и равен «7». NDC является кодом зоны нумерации национальной сети. Как известно, в фиксированной сети России при географической системе нумерации его длина 3 цифры и обозначается как ABC. Он определяет зонную сеть, т. е. АМТС. При негеографической системе нумерации его длина тоже 3 цифры и обозначается DEF. DEF в сотовых сетях стандарта GSM определяет конкретную сеть оператора связи, т. е. GMSC. Крупные операторы связи, такие как «Мегафон», «Мобильные ТелеСистемы», «Вымпелком», являются владельцами нескольких сетей и им выделяется несколько кодов DEF. Так, в настоящее время в России для этих операторов выделены следующие коды DEF:

- Мегафон – 920÷929, 930÷939;
- Мобильные ТелеСистемы – 910÷919, 980÷989;
- Вымпелком – 903, 905, 906, 909, 960÷969, 970÷979.

Однако архитектура сотовой сети общего пользования (PLMN) требует однозначной идентификации не только MS, но и множества других компонент и зон обслуживания. Это может привести к тому, что значности нумерации E.164 будет недостаточно. Учитывая это, была дополнительно введена новая нумерация только и только для сотовых сетей, которая специфицирована в рекомендации ITUE.212. В этом случае абоненту выделяется MSISDN из нумерации E.164 и IMSI (International Mobile Subscriber Identity) из нумерации E.212. Эти два номера ставятся в однозначное соответствие в HLR. При этом абонент, инициируя вызов, использует MSISDN, а сеть оперирует номером IMSI и этот номер храниться на SIM карте. Структура IMSI представлена на рис. 2.5: где MCC – код страны, MNC – код сети, MSIN – индивидуальный номер, выделяемый абоненту в пределах сети.

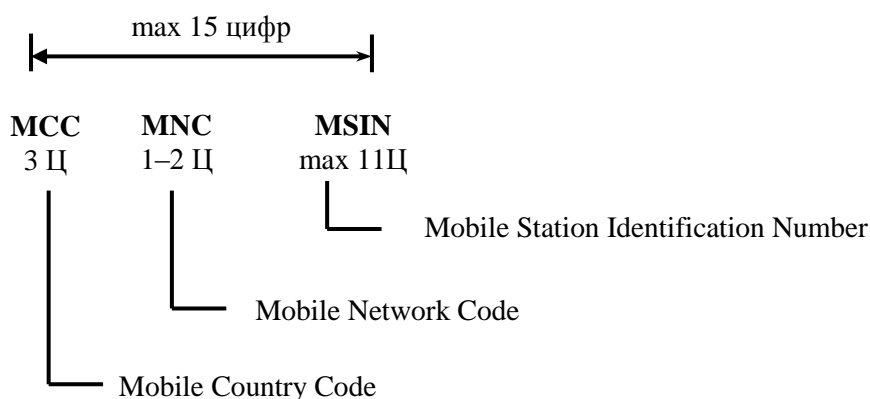


Рис. 2.5

Следует отметить, что номер IMSI в целях обеспечения конфиденциальности и защиты от несанкционированного доступа на радиоучастке передается только один раз в начале первого сеанса взаимодействия MS и MSC. В процессе сеанса взаимодействия MS идентифицируется с помощью TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity), который назначается только на один сеанс. В VLR ставится в однозначное соответствие IMSI и TMSI, выделенный на данный сеанс взаимодействия MS и MSC.

Кроме того, возникает проблема при маршрутизации вызова (канала) к MSC, в зоне обслуживания которого в данный момент времени находится вызываемая MS. Следовательно, необходимо как-то идентифицировать каждый MSC при маршрутизации к нему входящих вызовов. Для этого вводится номер MSRN (Mobile Station Routing Number). Каждому MSC выделяется столько номеров MSRN, сколько входящих вызовов одновременно надо маршрутизировать к нему. Для маршрутизации вызова к MS с номером IMSI исходящий MSC/GMSC по сети сигнализации запрашивает номер MSRN у HLR. В свою очередь, HLR обращается к VLR, которому он передал абонентские данные с номером IMSI. По требованию VLR MSC выделяет свободный MSRN, и VLR ставит в однозначное соответствие IMSI и MSRN. Выделенный номер по сети сигнализации доставляется исходящему MSC/GMSC. После установления соединения MSRN освобождается.

Поиск MS MSC осуществляет в пределах зоны местонахождения (LA). Для идентификации LA используется номер LAI (Location Area Identity), отличающийся от IMSI тем, что здесь вместо номера абонента указывается код зоны местонахождения. В VLR всегда поставлены в однозначное соответствие IMSI и LAI, MSC же содержит данные о том, какие BTS покрывают каждую зону местонахождения (LA). Для идентификации BTS используется номер BSIC (Base Station Identity Code). BSIC имеет локальное действие. Структура BSIC представлена на рис. 2.6.

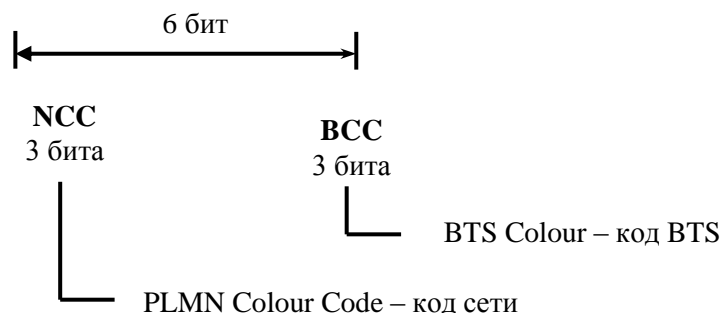


Рис. 2.6

Следует отметить, что соседние сети (PLMN's) не могут иметь одинаковые NCC.

2.3. Процедуры в сети GSM

Процедура аутентификации (Authentication). Данная процедура инициируется MSC при следующих обращениях MS:

- запрос на реализацию услуг;
- запрос на регистрацию в зоне обслуживания нового MSC при включении питания;
- обновление данных местонахождения со сменой зоны обслуживания MSC/VLR.

Порядок реализации процедуры аутентификации представлен на рис. 2.7.

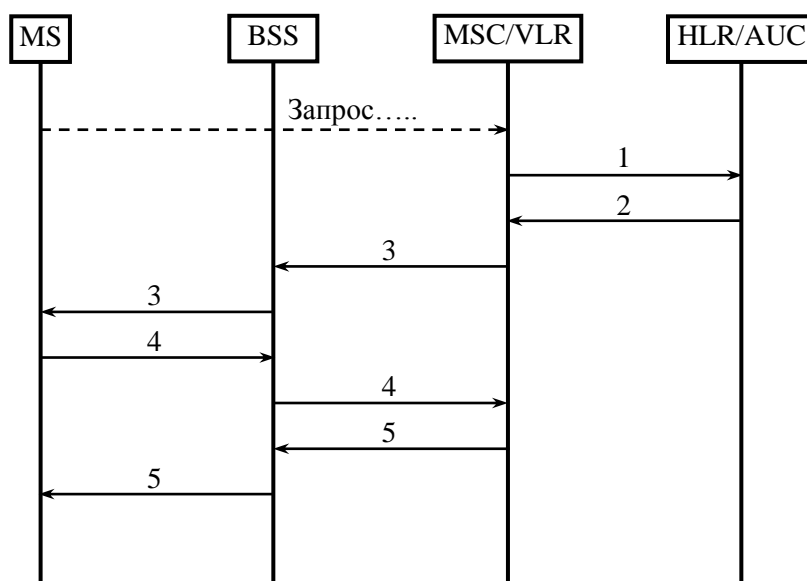


Рис. 2.7

1. При получении любого из вышеуказанных запросов MSC обращается с запросом к VLR. В свою очередь, VLR передает этот запрос HLR, который инициирует генерацию триплеты в AUC.

2. Сгенерированная AUC триплета доставляется MSC по маршруту AUC – HLR – VLR – MSC.

3. Получив триплету, MSC передает случайное число RAND из данной триплеты MS.

4. MS, используя полученное случайное число RAND и абонентский ключ K_i , хранящийся на SIM карте, вычисляет маркированный отклик SRES и ключ закрытия информации K_c по алгоритмам, аналогичным алгоритмам используемым AUC. Вычисленный маркированный отклик SRES MS передает MSC.

5. Поступивший от MS маркированный отклик SRES, MSC сравнивает с SRES из триплеты, созданной AUC. Если они совпадают, то процедура аутентификации прошла успешно. Об успешном завершении процедуры аутентификации MSC информирует MS.

Процедура закрытия информации (Ciphering). Для обеспечения конфиденциальности при передаче по радиоканалу осуществляется закрытие информации. Закрытие информации обеспечивают MS и BTS. Закрытие информации осуществляется за счет использования в процессе одного сеанса связи различных радиоканалов и циклов доступа. Порядок использования радиоканалов и циклов доступа определяется ключом закрытия информации K_c .

Процедура обновления данных местонахождения (Location updating). MS, находясь в свободном активном состоянии, может менять зоны обслуживания в процессе перемещения, но сеть должна знать, где она находится в каждый момент времени. При изменении зоны местонахождения MS должна инициировать процедуру обновления данных местонахождения. Следовательно, необходим механизм, позволяющий MS определить момент пересечения границы сот и зон местонахождения. Данный механизм основан на использовании логического канала с направлением передачи от BTS к MS, по которому постоянно передается BSIC и LAI. Момент пересечения границы сот MS определяет по уровню сигнала своей и смежных сот, сопоставляя полученные данные с пороговым значением. Если уровень сигнала в своей соте ниже порогового, а в смежной соте выше порогового, то MS переходит на радиоканал смежной соты. При этом MS сравнивает хранящееся у нее значение LAI со значением, полученным по новому радиоканалу. В случае, когда эти значения LAI не совпадают, MS должна инициировать процедуру обновления данных местонахождения. Возможны два варианта реализации данной процедуры – изменение зоны местонахождения произошло в пределах одного MSC, и когда при изменении зоны местонахождения изменяется и зона обслуживания MSC. Рассмотрим второй вариант, порядок реализации которого представлен на рис. 2.8.

1. MS при переходе на радиоканал смежной соты обнаруживает, что хранящийся у нее LAI и полученный по радиоканалу не совпадают. В этом случае она формирует запрос на обновление данных местонахождения, идентифицируя себя с помощью TMSI.

2. Получив запрос, «новый» VLR, используя TMSI, обращается к «старому» VLR с запросом абонентских данных этой MS.

3. «Старый» VLR, используя TMSI, осуществляет поиск и передачу абонентских данных MS «новому» VLR.

4. «Новый» VLR, получив абонентские данные MS, по номеру TMSI определяет IMSI данной MS. О получении абонентских данных MS с номером IMSI «новый» VLR информирует HLR.

5. HLR в своей базе данных ставит в однозначное соответствие IMSI и идентификатор «нового» VLR. Об изменении данных HLR информирует «новый» VLR.

6. Изменив информацию о том, в каком VLR находятся абонентские данные MS с номером IMSI, HLR сообщает «старому» VLR, что он может удалить абонентские данные MS с номером IMSI. Получив абонентские данные MS с номером IMSI, «новый» VLR инициирует процедуру аутентификации.

7. При успешном завершении процедуры аутентификации VLR назначает данной MS новый TMSI, ставит у себя в однозначное соответствие IMSI и TMSI, а назначенный TMSI передает MS.

8. VLR в базе данных отмечает местонахождение MS, ставя в однозначное соответствие IMSI – TMSI – LAI. Об успешном завершении процедуры обновления данных местонахождения VLR информирует MS, которая запоминает новое значение LAI, а прежние удаляет.

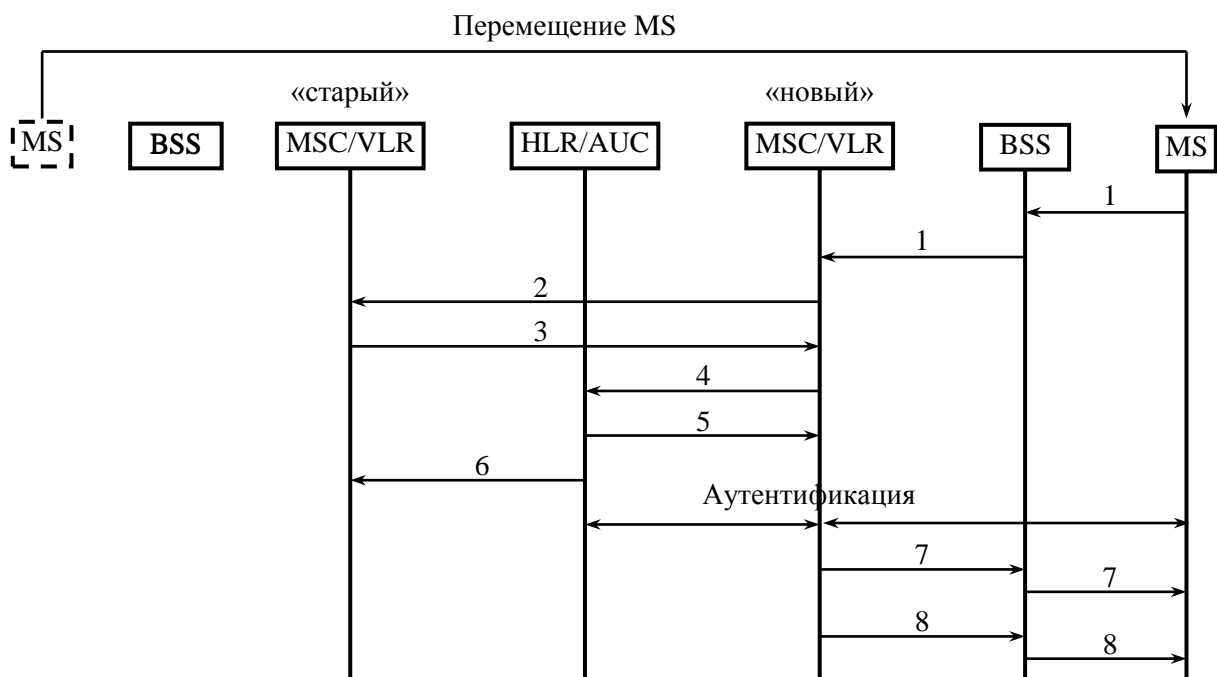


Рис. 2.8

Процедура поиска MS (Paging). Процедура поиска MS инициализируется сетью, т. е. MSC при маршрутизации входящего вызова к MS. Для поиска MS используется информация, хранящаяся в VLR, а именно IMSI – TMSI – LAI. По номеру LAI определяется, какие BTS покрывают данную зону местонахождения. Эти BTS по команде MSC передают в направлении BTS – MS номер TMSI, назначенный MS. Обнаружив адресованное ей сообщение, MS информирует об этом MSC, и MSC четко определяет BTS, в зоне обслуживания которой находится MS. Теперь MSC может приступить к установлению канала связи.

Процедура переключения вызова (Handover). Решение об инициализации процедуры переключения вызова в сотовых сетях стандарта GSM принимает BSC. Для принятия решения BSC в процессе обмена пользова-

тальной и сигнальной информацией должен получать результаты измерения уровня сигнала от BTS и MS. Кроме того, BSC необходимы измерения уровней сигналов смежных сот, которые должны поступать от MS. Процедура переключения вызова инициируется BSC только в том случае, если уровень сигнала в прямом и обратном направлении передачи информации по радиоканалу ниже порогового, а в одной из смежных сот – выше порогового. При этом возможны три варианта реализации данной процедуры. В первом случае перемещение MS происходит в зону обслуживания BTS, контролируемой тем же самым BSC (рис. 2.9, а). После принятия решения об инициализации процедуры BSC подготавливает новый канал к BTS, в зону обслуживания которой переместилась MS. Далее BSC передает указание MS о переходе на новый канал. Ранее используемый канал освобождается. В этом случае не требуется информировать MSC о произведенных действиях.

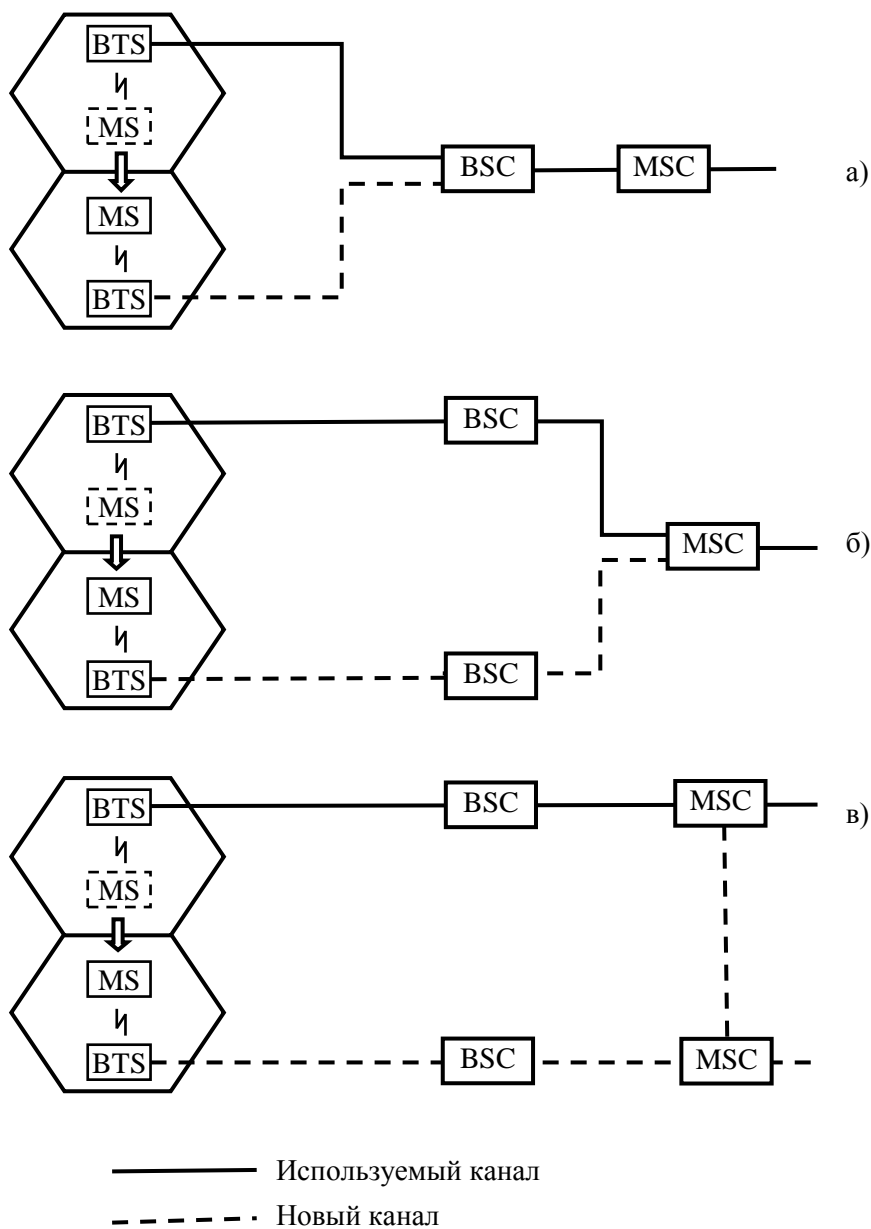


Рис. 2.9

Во втором случае (рис. 2.9, б) при перемещении MS изменяется и зона обслуживания BSC. Так как BSC, в зоне действия которого находится в данный момент времени MS, самостоятельно не может реализовать процедуру переключения вызова, он обращается к MSC. MSC осуществляет установление пользовательского канала связи MSC – «новый» BSC – «новая» BTS, передает команду MS о переходе на «новый» канал. Ранее используемый канал связи освобождается.

Третий случай (рис. 2.9, в) является более общим. В этом случае в процессе реализации процедуры задействованы два MSC, два BSC и две BTS. MSC, в зоне обслуживания которого находилась MS, называют обслуживающим (*servicing exchange*), а MSC, в зону обслуживания которого переместилась MS – целевым (*target exchange*). Как и в предыдущем случае, BSC не может реализовать процедуру переключения вызова и обращается к обслуживающему MSC с запросом на установление пользовательского канала к целевому MSC и передает запрос на установление пользовательского канала связи к «новой» BTS. Целевой MSC обеспечивает установление пользовательского канала к BTS, а о произведенных действиях информирует обслуживающий MSC. Обслуживающий MSC, получив подтверждение об успешной подготовке пользовательского канала к «новой» BTS, передает команду MS о переходе на новый канал связи. Существующий канал «обслуживающий MSC – BSC – BTS» освобождается.

Процедуры подключение/отключение (Attach/Detach). Процедуры подключение/отключение инициируются MS при включении/выключении электропитания MS. Целью данных процедур является отметка как в HLR, так и в VLR активна или нет MS. Процедура подключения имеет два варианта реализации в зависимости от того, в зоне действия какого MSC произошло включение питания. Более общим случаем является случай, когда MSC, где было отключение питания MS и где произошло включение питания, различные. В этом случае процедуру подключения называют *первая регистрация* (*first registration*) или *регистрация местонахождения* (*location registration*). Порядок реализации данной процедуры представлен на рис. 2.10.

1. После включения питания MS инициирует процедуру регистрации местонахождения и посылает запрос MSC, идентифицируя себя, используя IMSI. Получив запрос, MSC осуществляет процедуру аутентификации.

2. После успешного завершения процедуры аутентификации VLR запрашивает абонентские данные в HLR.

3. HLR отмечает MS с номером IMSI активной и передает ее абонентские данные в VLR.

4. VLR сохраняет полученные абонентские данные, назначает MS TMSI, ставя в соответствие IMSI – TMSI. После этого MSC/VLR передает MS подтверждение об успешном завершении процедуры и TMSI.

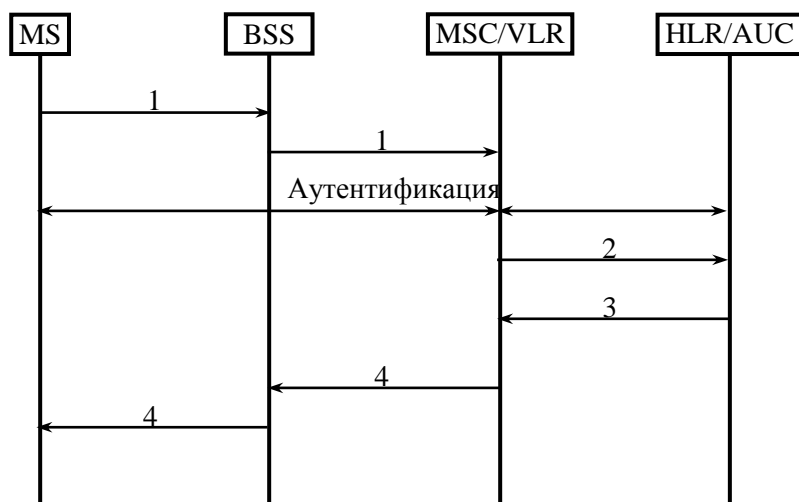


Рис. 2.10

Процедура отключения необходима для того, чтобы информировать сеть о том, что MS переходит из активного состояния в неактивное, т. е. чтобы сеть не осуществляла поиск MS при входящем вызове к ней. Отметка состояния MS осуществляется в VLR и HLR. Процедура отключения не предусматривает передачу MS подтверждения о завершении процедуры, так как в MS уже отключено электропитание. Однако MSC может не получить запроса на отключение из-за качества радиоканала (многолучевость, эффект тени и т. д.) и будет считать MS активной. Во избежание этого MS, находясь в свободном активном состоянии, должна периодически инициировать процедуру периодической регистрации (periodic registration). Если MSC не получает сообщения периодической регистрации от MS, он отмечает в VLR и HLR эту MS как неактивную. Процедура периодической регистрации реализуется с подтверждением для исключения повторных попыток регистрации. Период регистрации может быть различным и определяется сетью, о чем информируется MS.

2.4. Исходящий вызов от MS

При исходящем вызове абонент вначале должен набрать полный номер MSISDN вызываемой MS или номер абонентской линии фиксированной сети, и только после этого инициируется процесс обслуживания вызова. Порядок обслуживания исходящего вызова представлен на рис. 2.11.

1. При инициации вызова MS передает запрос MSC на реализацию услуги, идентифицируя себя с помощью TMSI.

2. Получив запрос на реализацию услуги, MSC в первую очередь осуществляет процесс аутентификации. Если процесс аутентификации завершился успешно, происходит назначение нового TMSI. Получив новый TMSI, MS может приступить к процессу установления соединения. Для этого MS передает MSC набранный абонентом номер.

3. Получив цифры номера, MSC обращается к VLR за информацией о возможности реализации запрошенной абонентом услуги. Если реализация услуги возможна, MSC обеспечивает предоставление MS двухстороннего пользовательского канала.

4. После выделения MS пользовательского канала в сети радиодоступа, MSC приступает к установлению соединения до вызываемого оконечного терминала, передавая по сети ОКС необходимую адресную информацию.

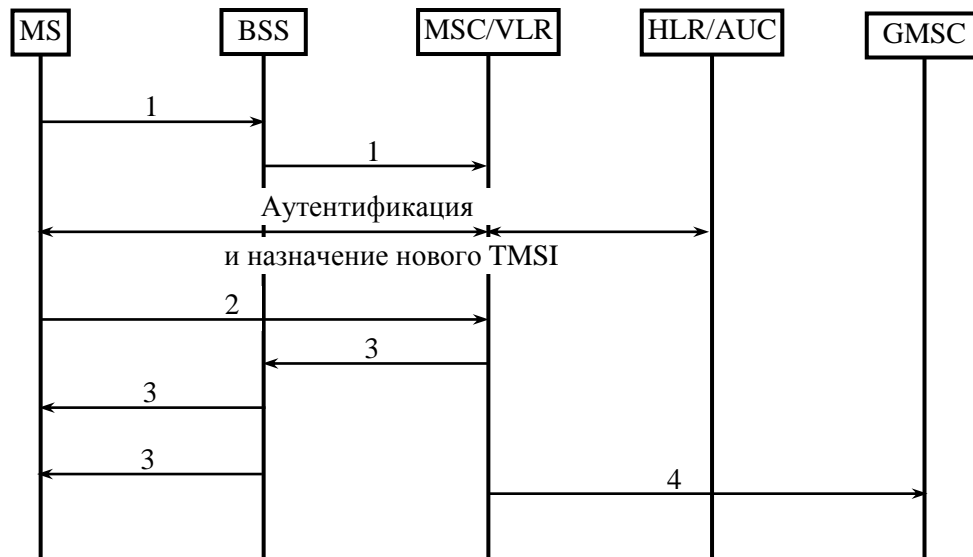


Рис. 2.11

2.5. Входящий вызов к MS

При входящем вызове к MS независимо от того, поступает он от фиксированной сети PSTN/ISDN или другой PLMN, на GMSC приходит по сети ОКС сообщение (1), содержащее MSISDN вызываемой MS, как это показано на рис. 2.12. Маршрутизация соединения до GMSC осуществляется по DEF.

2. Так как MSISDN не определяет, в зоне обслуживания какого MSC находится в данный момент времени вызываемая MS, GMSC обращается к HLR с запросом MSRN, передавая ему полученный MSISDN.

3. Получив запрос, HLR по номеру MSISDN определяет IMSI и в каком VLR сейчас находится база данных вызываемой MS. После этого HLR обращается к данному VLR с запросом MSRN, передавая ему IMSI.

4. MSC/VLR выделяет свободный MSRN для маршрутизации соединения от GMSC до MSC. Выделенный MSRN ставится в однозначное соответствие с IMSI вызываемой MS. Выделенный MSRN VLR передает HLR, который, в свою очередь, доставляет его GMSC.

5. Используя полученный для маршрутизации MSRN, GMSC инициирует процесс установления соединения GMSC – MSC, аналогично, как это делается и в фиксированных сетях.

6. После установления соединения выделенный MSRN освобождается и MSC обращается к VLR с запросом LAI. Получив LAI, MSC определяет перечень BTS, покрывающих данную зону местонахождения. Получив перечень BTS, MSC формирует и передает команду поиска MS с номером IMSI.

7. Получив сообщение поиска, MS отвечает MSC. После получения ответа MSC четко определила и BTS. Далее, MSC инициирует процедуру аутентификации и назначения нового TMSI.

8. После успешного завершения аутентификации MSC обеспечивает установление сквозного дуплексного пользовательского канала.

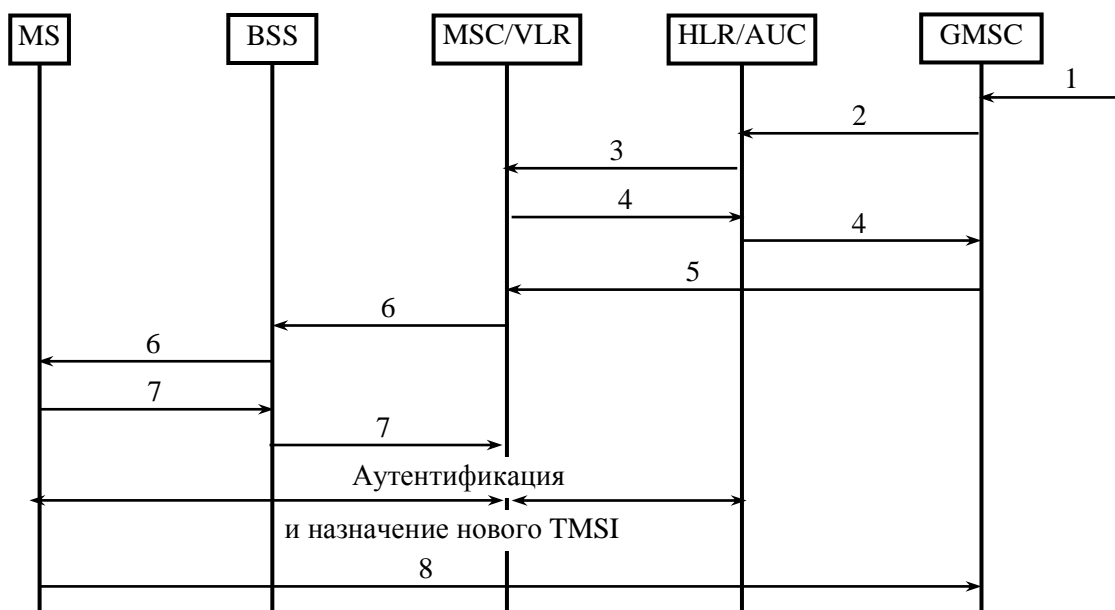


Рис. 2.12

2.6. Радиointерфейс GSM

В настоящее время для организации радиоканалов в GSM используется частотный диапазон 900 мГц (GSM-900) и 1800 мГц (GSM-1800). Далее, будем рассматривать только GSM-900.

В GSM для создания дуплексных каналов связи используется принцип частотного разделения направлений передачи (FDD). То есть выделены два диапазона частот: один для радиоканалов прямого направления передачи информации, а другой для обратного. В соответствии со спецификациями GSM, диапазон частот 935–960 мГц используется для создания радиоканалов от MS к BTS, а диапазон частот 890–915 мГц от BTS к MS. Интервал между несущими соседних радиоканалов составляет 200 кГц. Таким образом, дуплексный радиоканал в GSM представляет собой две полосы частот по 200 кГц. Если обозначить $F_l(n)$ – номер несущей в полосе частот 890–915 мГц

и $F_u(n)$ – номер несущей в полосе частот 935–960 МГц, то частоты несущих определяются как:

$$F_l(n) = 890,2 + 0,2(n-1) \text{ МГц};$$

$$F_u(n) = F_l(n) + 45 \text{ МГц};$$

$$1 < n < 124.$$

Следовательно, стандарт GSM располагает всего 124-я дуплексными радиоканалами. В целях обеспечения конкуренции лицензия на использование всех 124 радиоканалов не может быть выдана одному оператору связи.

Для обеспечения множественного доступа в каждом радиоканале создается 8 цифровых каналов с временным их разделением (TDMA). Цикл доступа на каждом из радиоканалов представлен на рис. 2.13.



Рис. 2.13

В каждом цикле доступа по любому цифровому каналу максимально можно передать 148 бит информации. В силу неидеальности аппаратной реализации каждый цифровой канал имеет защитный интервал, равный времени передачи 8,25 бита.

Сейчас остановимся на том, как в GSM обеспечивается требуемое качество доставки информации по радиоканалу, т. е. борьба с временной дисперсией и замираниями, приводящими к потере информации. Для борьбы с временной дисперсией в GSM используется эквалайзер, который обеспечивает выравнивание импульсных сигналов со среднеквадратическим отклонением времени задержки до 16 мкс. Работа эквалайзера (рис. 2.14) основана на использовании заранее известной комбинации S и алгоритма VITERBI. Пусть по цифровому каналу поступила кодовая комбинация, в которой предусмотрено место для кодовой комбинации S . Но в силу неидеальности радиоканала мы приняли S' . Сравнивая S и S' с помощью коррелятора, создаем модель канала. Теперь надо определить, что же было передано в кодовой комбинации кроме S . Рассмотрим процесс принятия решения на простейшем примере – трехразрядной комбинации. Пусть мы приняли 010. Чтобы определить, что же было передано, необходимо через

модель канала передавать все возможные трехразрядные комбинации, пока на выходе не получим 010. Тогда та комбинация (001), которая привела к появлению на выходе модели канала 010, и будет искомой, как это показано на рис. 2.15.

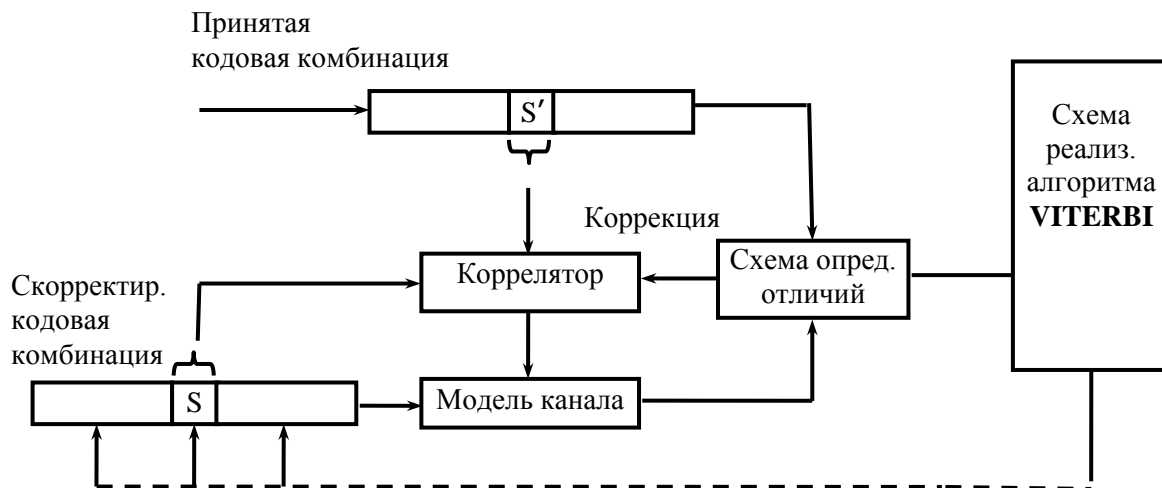


Рис. 2.14

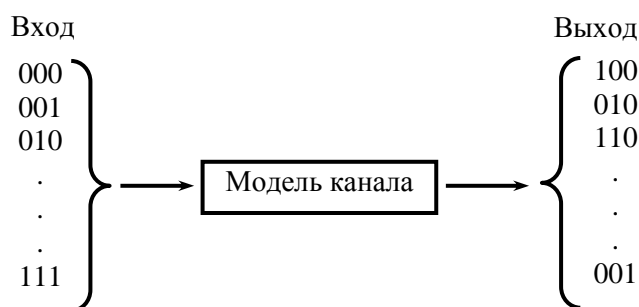


Рис. 2.15

Число переборov при увеличении разрядности значительно возрастает. Для сокращения числа переборov и используется алгоритм VITERBI. Таким образом, для устранения помех, вызванных временной дисперсией, необходимо в каждой комбинации передавать дополнительную информацию (S), обеспечивающую работу эквалайзера.

Теперь остановимся на замираниях, которые могут привести к искажению информации. В этом случае мы должны быть готовы восстановить информацию или в крайнем случае определить, что наличие ошибок не позволяет использовать принятую информацию. Для этого используется линейное (канальное) кодирование, которое подразумевает некоторую избыточность. Линейное кодирование в GSM включает блочное кодирование и сверточное кодирование. Как было отмечено ранее, в результате кодирования после кодека для каждого отрезка речевого сигнала в 20 мс мы получаем 260 бит. Эти 260 бит по степени важности разделяются на три блока в 50 бит, 132 бита и 78 бит (рис. 2.16).

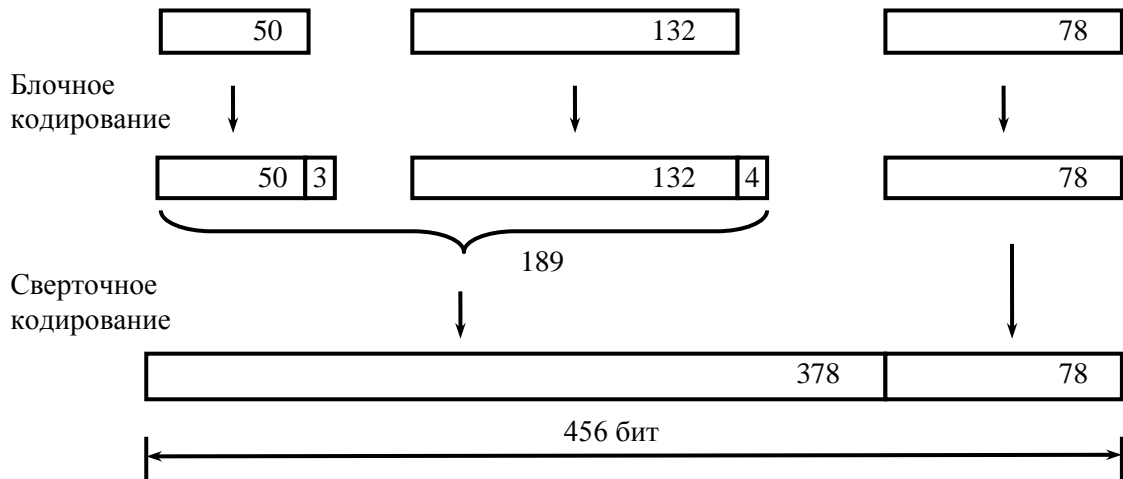


Рис. 2.16

На первом этапе для блоков в 50 бит и 132 бита используется блочное кодирование. В результате после блочного кодирования мы получаем 189 бит. Полученные 189 бит подвергаются сверточному кодированию. Таким образом, в результате линейного кодирования мы получаем 456 бит для 20 мс отрезка речевого сигнала, что уже требует пропускной способности канала в 22,8 кбит/с. Во избежание группирования ошибок при передаче информации по радиоканалу 456 бит сегмента речевого сигнала не передаются последовательно. Перед передачей информации по радиоканалу осуществляется перемежение, как это показано на рис. 2.17.

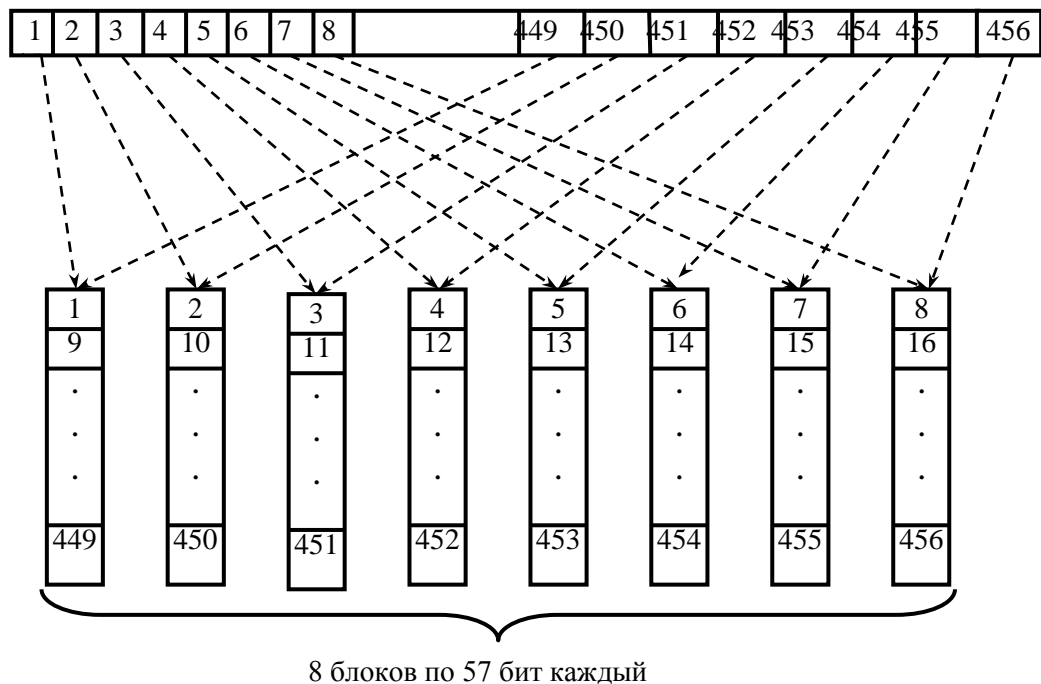


Рис. 2.17

В результате перемежевания 456 бит получаем 8 блоков по 57 бит каждый, которые необходимо доставить за 20 мс.

Теперь перейдем к рассмотрению, как рационально использовать 8 цифровых каналов каждого радиоканала. Сложность состоит в том, что в процессе реализации ранее рассмотренных процедур необходимо осуществлять либо обмен информацией, либо передавать ее только в одном из направлений, причем в различной конфигурации (точка – точка, точка – многоточие) и с различной скоростью.

Спецификациями GSM определен перечень логических каналов, представленный на рис. 2.18.

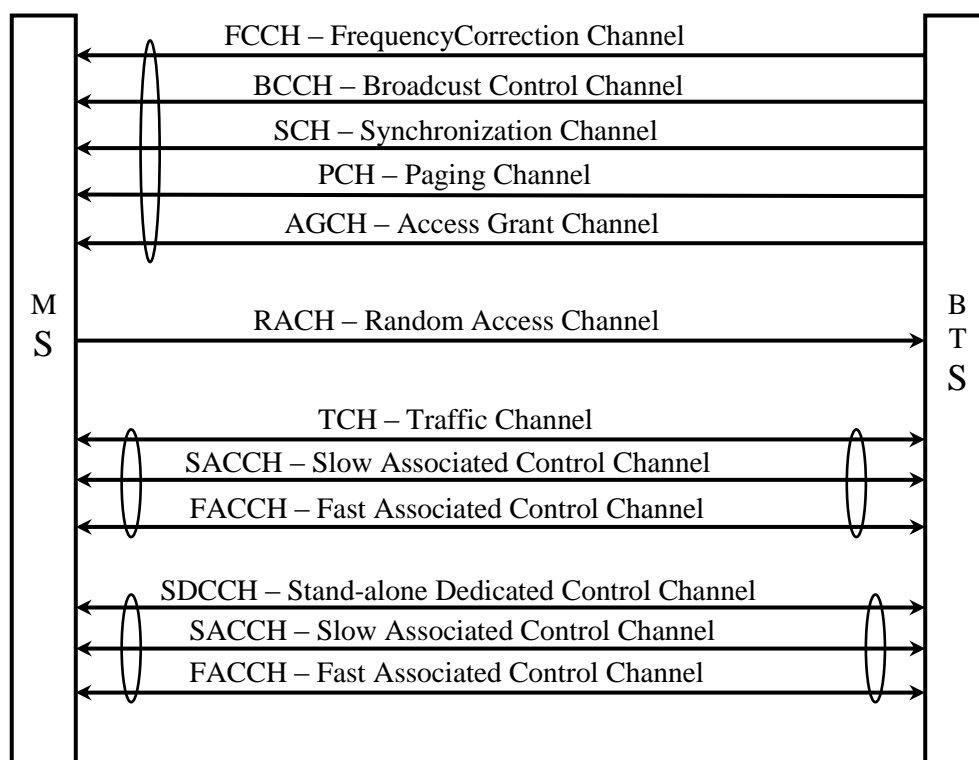


Рис. 2.18

Все логические каналы, организуемые на участке BSS – MS, можно разделить на два вида: пользовательские и управления. Логические каналы управления, в свою очередь, можно разбить на три группы каналов: обеспечения радиообмена, общие, индивидуальные.

TCH – Traffic Channels (T) – пользовательские каналы являются двухсторонними каналами с конфигурацией точка-точка. При этом, как отмечалось ранее, при передаче речевой информации нужно обеспечивать скорость канала в 22,8 кбит/с.

Логические каналы обеспечения радиообмена являются односторонними каналами с направлением передачи от BSS к MS, и имеют конфигурацию точка – многоточие. Данные каналы несут информацию, которая необходима MS для работы в сети, и включают в себя:

FCCH – Frequency Correction Channel (F) – канал подстройки частоты, используемый для подстройки частоты MS;

SCH – Synchronization Channel – (S) – канал синхронизации, который используется для цикловой синхронизации доступа и идентификации BSS;

BCCH – Broadcast Control Channel (B) – контрольный канал. Данный канал применяется для передачи основной информации о соте, например идентификатор зоны местонахождения LAI, период регистрации и т. д.

Общие логические каналы (CCCH – Common Control Channels) образуются следующими логическими каналами:

PCH – Paging Channel (C) – канал поиска. Является однонаправленным каналом от BSS к MS с конфигурацией точка-точка и используется для поиска MS в зоне местонахождения;

RACH – Random Access Channel (R) – канал доступа. Это односторонний канал с направлением передачи от MS к BSS, который имеет конфигурацию точка – точка. Он используется MS для запроса канала сигнализации при доступе ее к сети.

AGCH – Access Grant Channel (C) – канал разрешения доступа, используемый для выделения MS канала сигнализации и имеющий одно направление передачи от BSS к MS с конфигурацией точка-точка.

Индивидуальные логические каналы (DCCH – Dedicated Control Channels) являются двухсторонними каналами с конфигурацией точка-точка и используются как сетью, так и MS для сигнализации. Они включают в себя:

SDCCH – Stand-alone Dedicated Control Channel (D) – индивидуальный сигнальный канал, который используется для сигнализации в процессе установления соединения до назначения пользовательского канала, например для аутентификации и регистрации;

SACCH – Slow Associated Control Channel (A) – медленный ассоциированный канал, используемый наряду с пользовательским каналом или индивидуальным сигнальным каналом. Он является их продолжением и применяется для передачи информации, например: результаты измерений уровня сигнала своей и смежных сот, регулировка мощности MS, временная синхронизация;

FACCH – Fast Associated Control Channel (A)' – быстрый ассоциированный канал, который используется наряду с пользовательским каналом, когда в процессе обмена пользовательской информацией необходимо передать объем информации больше, чем может обеспечить медленный ассоциированный канал. В этом случае вместо 20 мс пользовательской информации передается, например, информация, необходимая для переключения вызова. Прерывание в передаче пользовательской информации незначительно. При этом абоненту повторно передается информация предыдущего цикла.

Учитывая назначение информации, передаваемой по различным логическим каналам, используются и различные форматы кодовых комбинаций (burst) для них. Форматы кодовых комбинаций, определенные стандартом GSM, представлены на рис. 2.19

Основной формат кодовой комбинации, используемый большинством логических каналов, изображен на рис. 2.19, а. Три бита в начале и конце кодовой комбинации, значение которых равно 0, используются эквалайзером в качестве стартового и стопового флагов. Два поля по 57 бит используются для передачи информации. При этом биты после этих полей определяют вид передаваемой информации – пользовательская или быстрого ассоциированного канала. Поле в 26 бит занимает специальная комбинация *S* эквалайзера. Время, соответствующее передаче 8,25 бита (30,46 мкс), не используется для передачи информации, и оно является защитным интервалом между физическими каналами.

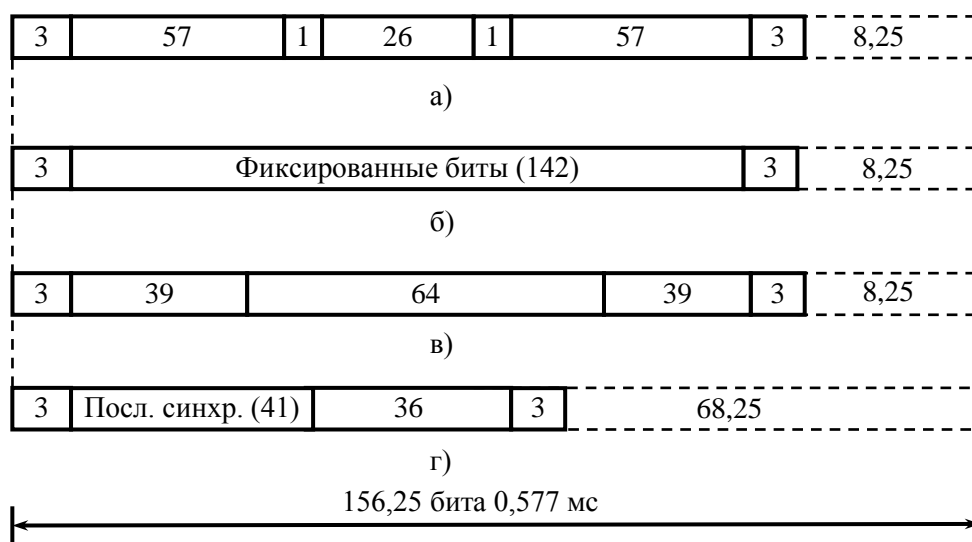


Рис. 2.19

Формат кодовой комбинации, используемый логическим каналом подстройки частоты, изображен на рис. 2.19, б. Фиксированные биты данного формата для упрощения процедуры подстройки частоты в ПС представляют собой последовательность нулей, что равносильно передаче немодулированного сигнала.

Логический канал синхронизации использует формат кодовой комбинации, представленный на рис. 2.19, в. В этом формате 64 бита представляют собой легко распознаваемую последовательность синхронизации (синхрослово). Кроме того, два сегмента по 39 бит заключают информацию о номере цикла доступа и код BSS (BSIC – Base Station Identity Code). Нумерация циклов доступа используется как один из параметров закрытия информации. При этом используется циклическая нумерация с периодом

около 3,5 часа (2 715 648 циклов). Кроме того, по номеру цикла доступа MS узнает, информация какого логического канала передается по нулевому физическому каналу. Код BSS используется при измерении уровня сигнала, т. е. результаты измерений сопоставляются с кодом BSS.

Формат кодовой комбинации логического канала доступа (рис. 2.19, г) имеет большой период передачи, особенно это важно для MS, которые не имеют синхронизации с BSS при первом доступе или после передачи вызова. Кроме того, этот формат короче, чем остальные, и имеет большой защитный интервал (68,25 бита – 252 мкс), необходимый для предотвращения возможного наложения из-за отсутствия синхронизации. Защитный интервал перекрывает время распространения сигнала в двух направлениях передачи на расстояние в 35 км (≈ 233 мкс).

Для организации логических каналов используются цифровые каналы радиоканалов. Организация логических каналов осуществляется за счет создания новых цикловых структур. Пусть в данной соте имеется n дуплексных радиоканалов C_0, C_1, \dots, C_n , каждый из которых содержит 8 цифровых каналов.

Рассмотрим сначала организацию логических каналов управления. Логические каналы обеспечения радиообмена и общие, как было отмечено ранее, являются односторонними. Логические каналы подстройки частоты (F), синхронизации (S), контрольный (B) и общие (C): поиска и разрешения доступа имеют направление передачи от BSS к MS, а общий канал параллельного доступа (R) – от MS к BSS. Индивидуальные же логические каналы управления: индивидуальный сигнальный (D), медленный ассоциированный (A) и быстрый ассоциированный (A') являются двухсторонними. При этом логические каналы управления F, S и B имеют конфигурацию точка – многоточие, и достаточно иметь по одному каналу данного типа в каждой из сот. Требуемое число логических каналов управления типа C, R, D, A зависит от нагрузки, создаваемой MS в каждой из сот. В зависимости от нагрузки для организации логических каналов управления используются один или более физических каналов.

Остановимся на случае, когда используется два физических канала 0-й и 1-й радиоканала C_0 . Нулевой физический канал в направлении передачи от BSS к MS предназначен для организации логических каналов F, S, B, C . В направлении передачи от MS к BSS в нем размещаются только логические каналы R . Для создания вышеперечисленных логических каналов организуется мультицикл, содержащий 51 цикл доступа (рис. 2.20).

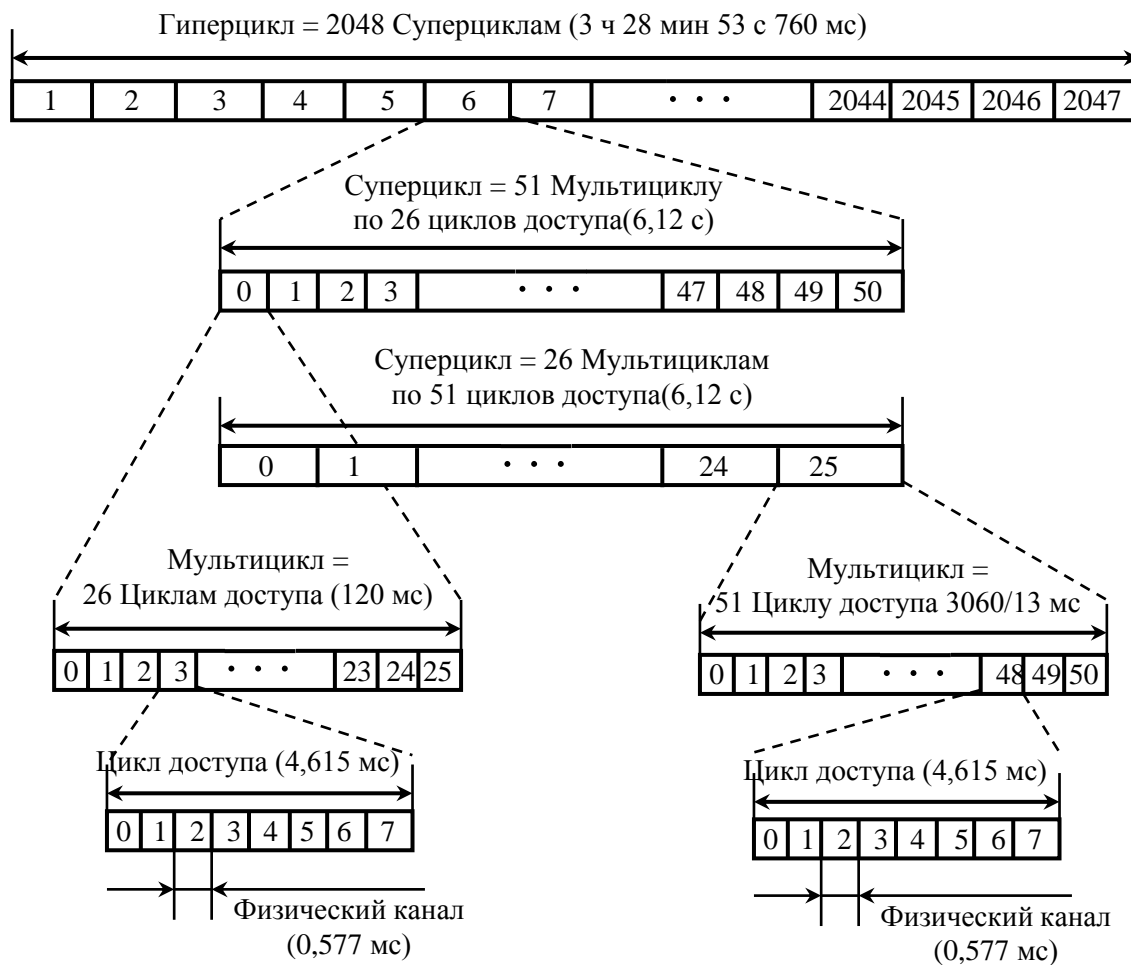


Рис. 2.20

В целях обеспечения равномерной периодической передачи кодовых комбинаций подстройки частоты и синхронизации в направлении от BSS к MS, мультицикл разбивается на 5 групп циклов доступа по 10 в каждом. Каждая группа начинается с кодовых комбинаций логических каналов управления F и S , как это показано на рис. 2.21, а. Далее, в первой группе размещаются по одному логическому каналу B и C , а в остальных группах по два логических канала C . Скорость передачи информации логических каналов B и C составляет 1,94 кбит/с (4×114 за 3060/13 мс). В последнем цикле доступа мультицикла 0-й физический канал направления передачи от BSS к MS не используется для передачи информации ($I - Idle$). Его длительность отводится MS для реализации процедуры измерения уровня сигналов своей и смежных сот. В направлении передачи от MS к BSS мультицикл не разбивается на группы циклов доступа, а 0-й физический канал каждого цикла доступа мультицикла используется для организации логического канала R (рис. 2.21, б). Осталось осуществить размещение логических каналов управления D и A .

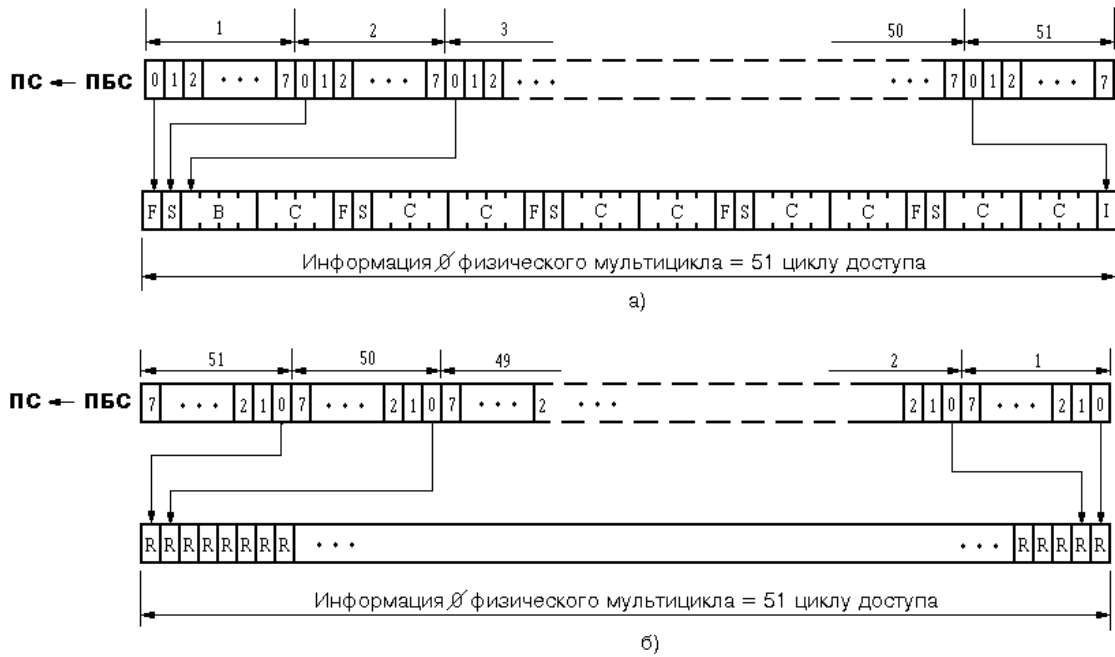


Рис. 2.21

Информация быстрого ассоциированного канала A' , как отмечалось ранее, передается по пользовательским каналам. Логические каналы D и A являются двухсторонними, и для их организации используется 1-й физический канал радиоканала C_0 . Для обеспечения требуемого качества обслуживания вызовов в данном случае достаточно в каждой соте иметь по 8 логических каналов D со скоростью передачи 1,94 кбит/с и такое же количество совмещенных с ними каналов A со скоростью передачи в два раза ниже. Учитывая это, для того чтобы получить по 8 логических каналов каждого типа необходимо два мультицикла по 51 циклу доступа в каждом. Порядок размещения логических каналов типа D и A в первом физическом канале радиоканала C_0 прямого и обратного направлений передачи представлен на рис. 2.22. Как видно из рисунка, логические каналы прямого и обратного направлений передачи смещены относительно друг друга. Это необходимо для обеспечения более эффективного взаимодействия MS и BSS, т. е. MS имеет возможность сформировать ответную информацию.

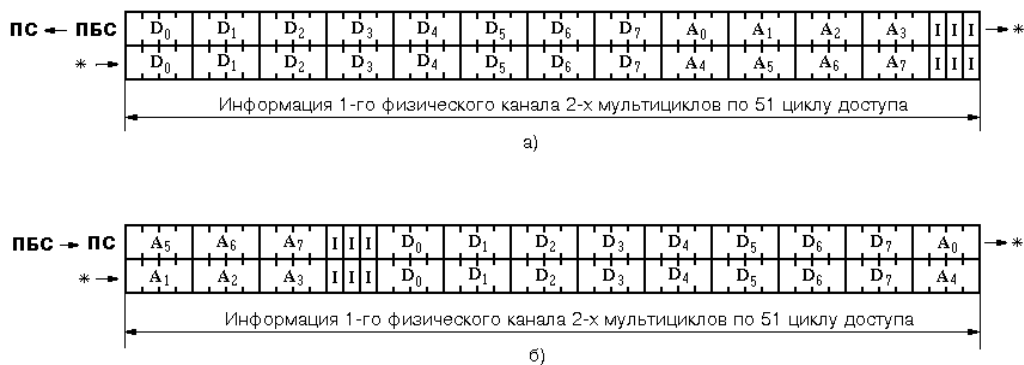


Рис. 2.22

Перейдем теперь к рассмотрению организации пользовательских логических каналов (T). 0-й и 1-й физические каналы радиоканала C_0 уже заняты под логические каналы управления, и на этой частоте для организации пользовательских логических каналов остаются только физические каналы со 2-го по 7-й. При организации пользовательских логических каналов необходимо учитывать, что каждый из них должен иметь медленный ассоциированный логический канал A со скоростью передачи 950 бит/с, который используется, например, для регулировки мощности MS в процессе обмена пользовательской информацией. Кроме того, MS требуется выделить время для реализации процедуры измерения уровня сигнала. Учитывая вышесказанное, при размещении пользовательских логических каналов организуется мультицикл содержащий 26 циклов доступа (рис. 2.20). Тринадцатый цикл доступа мультицикла каждого пользовательского физического канала используется для размещения логического канала управления A , а 26-й остается пустым. Остальные 24 цикла доступа мультицикла предназначены для размещения одного пользовательского логического канала со скоростью передачи 22,8 кбит/с (24×114 бит за 120 мс), как это показано на рис. 2.23.



Рис. 2.23

Структуры мультициклов прямого и обратного направлений передачи идентичны. Однако следует учитывать, что MS не может одновременно осуществлять передачу и прием информации, поэтому циклы доступа прямого и обратного направлений передачи смещены во времени, как это показано на рис. 2.24.

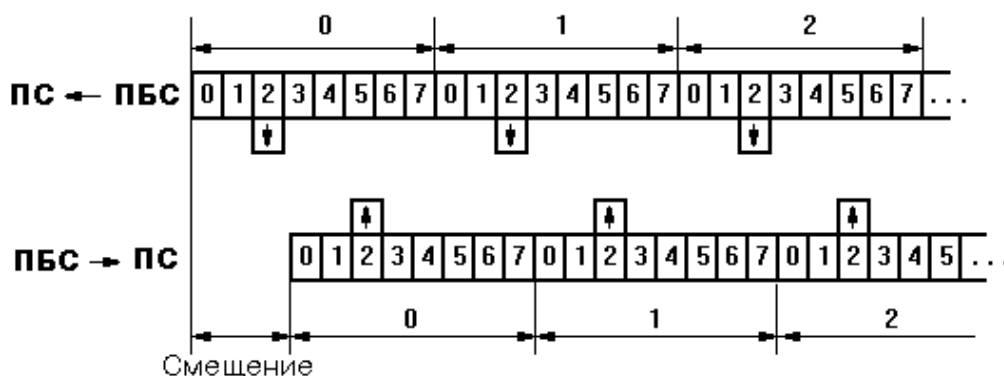


Рис. 2.24

Таким образом, 0-й и 1-й физические каналы радиоканала C_0 используются для организации логических каналов управления, а физические каналы со 2-го по 7-й для пользовательских логических каналов. Физические каналы радиоканалов C_1, C_2, \dots, C_n полностью используются для организации пользовательских логических каналов.

При рассмотрении организации логических и физических каналов мы ввели понятие *цикл доступа* – мультицикл, содержащий 51 или 26 циклов доступа. Кроме того, отмечали, что для обеспечения закрытия информации используется нумерация циклов доступа. Механизм организации нумерации циклов доступа приведен на рис. 2.20. Цикл доступа с периодом повторения 4,615 мс образуется 8 физическими каналами с длительностью каждого в 0,577 мс. Для организации логических каналов управления организуются мультициклы по 51 циклу доступа с периодом следования 235,384 мс, а для пользовательских каналов организуется мультицикл по 26 циклов доступа с периодом следования 120 мс. На базе мультициклов образуется суперцикл, который содержит либо 51 мультицикл с 26 циклами доступа, либо 26 мультициклов с 51 циклом доступа. Период следования суперцикла составляет 6,12 с. 2048 суперциклов составляют один гиперцикл с периодом следования 3 ч 28 мин 53 с 760 мс.

2.7. Сигнализация в сети GSM

Как отмечалось ранее, сеть мобильной связи стандарта GSM является логическим продолжением (развитием) фиксированной сети PSTN/ISDN. В общем случае они совместно реализуют услуги, предоставляемые абонентам. Так же как и PSTN/ISDN, сеть стандарта GSM является сетью с коммутацией каналов. Учитывая это, основной системой сигнализации, обеспечивающей обмен информацией между компонентами сети GSM в процессе реализации услуг (процедур), принята система сигнализации № 7 ITU-T (SS7) по общему каналу сигнализации. На участке же сети MS-BSS используется протокол LAP-D (Link access procedure on the D-channel).

Стек протоколов системы сигнализации SS7, используемый в сети стандарта GSM, представлен на рис. 2.25.

Задачи SS7, в соответствии со спецификациями ITU-T, делятся на две части: пользовательскую UP – User Part и часть доставки сообщений MTP – Message Transfer Part. UP служит для обеспечения единой формы предоставления сигнальной информации при взаимодействии подсистем управления оборудования различных фирм-производителей.

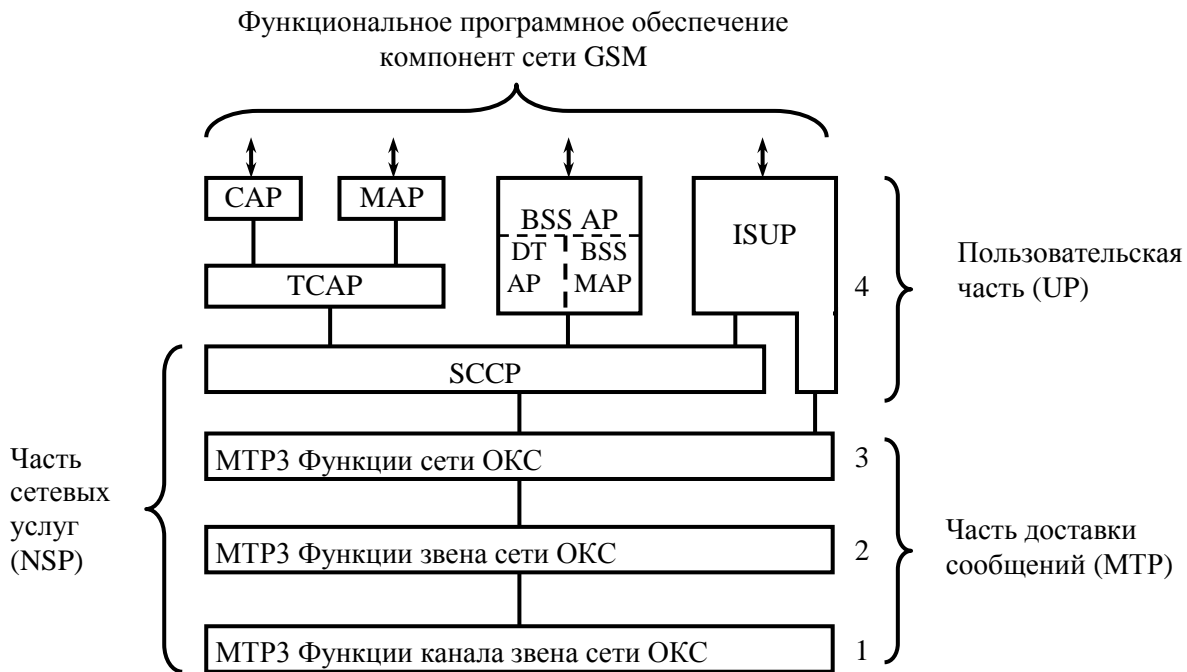


Рис. 2.25

CAP – CAMEL Application Part. Данная прикладная часть необходима для стандартизации действий при доступе к услугам интеллектуальной сети.

MAP – Mobile Application Part. Основной задачей MAP является стандартизация процедур работы с абонентскими базами данных HLR и VLR.

ISUP – ISDN User Part. Пользовательская часть сети ISDN для обмена сигнальными сообщениями между подсистемой управления узлов коммутации в процессе проключения и освобождения пользовательского канала 64 кбит/с.

BSSAP – Base Station System Application Part. BSSAP осуществляет обмен сигнальной информацией между MSC и BSC, а также доставляет сообщение LAP-D до BSC с последующей его передачей MS. С учетом этого BSSAP имеет две прикладные части: BSSMAP – BSS Management Application Part и DTAP – Direct Transfer Application Part. Использование BSSAP показано на рис. 2.26.

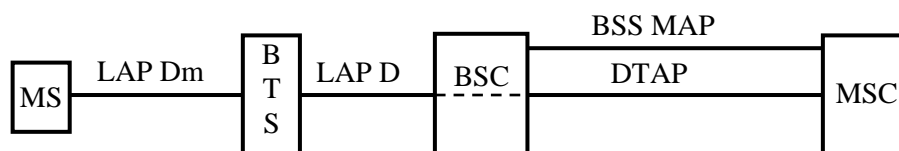


Рис. 2.26

TCAP – Transaction Application Part. Прикладная часть обеспечения транзакций служит для стандартизации действий при запуске операций на удаленной стороне и получения результатов их выполнения.

SCCP – Signaling Connection Control Part. SCCP была добавлена для расширения сетевых возможностей SS7 по доставке сигнальной информации. Она обеспечивает маршрутизацию в глобальной сети ОКС, предоставляя услуги по транспортировке по логическим сигнальным соединениям или без них. Возможности SCCP и MTP получили название части сетевых услуг NSP–Network Service Part.

MTP обеспечивает доставку с заданной достоверностью единичных независимых сообщений, сформированных UP только в пределах конкретной сети ОКС, и отвечает за ее работоспособность.

MTP3 реализует следующие задачи: обработка сигнальных сообщений и управление сетью ОКС. Обработка сигнальных сообщений включает распределение, дискриминацию и маршрутизацию. Управление сетью ОКС осуществляет обнаружение внештатных ситуаций, обеспечивает работоспособность сети и восстанавливает первоначальную конфигурацию после устранения обнаруженных неисправностей. Для этого управление сетью MTP3 включает в себя следующие функции: управление звеньями, управление маршрутами, управление трафиком.

MTP2 осуществляет доставку сигнальных сообщений на звене сети ОКС с заданной достоверностью и контролирует пригодность звена для их передачи. Для обеспечения требуемой достоверности на уровне MTP2 происходит обнаружение и исправление ошибок. Контроль пригодности звена для передачи сигнальных сообщений осуществляется монитором интенсивности ошибок и защитой от перегрузки.

Два MTP2 на звене сети ОКС обмениваются информацией в виде сигнальных единиц. Спецификациями ITU-T определены три формата сигнальных единиц:

MSU – Message Signal Unit, которая используется для доставки сигнальных сообщений от UP, либо управление сетью ОКС;

LSSU – Link Status Signal Unit предназначена для информирования встречной стороны об изменении статуса звена (Link), либо об операции, выполняемой на канале звена сети ОКС. Обмен сигнальными единицами LSSU осуществляется только между смежными MTP2;

FISU – Fill-in Signal Unit используется для контроля интенсивности ошибок и передается при отсутствии сигнальных единиц других форматов.

MTP1 определяет вероятностно-временные характеристики канала звена сети ОКС.

Примеры использования возможностей систем сигнализации в сети стандарта GSM представлены на рис. 2.27.

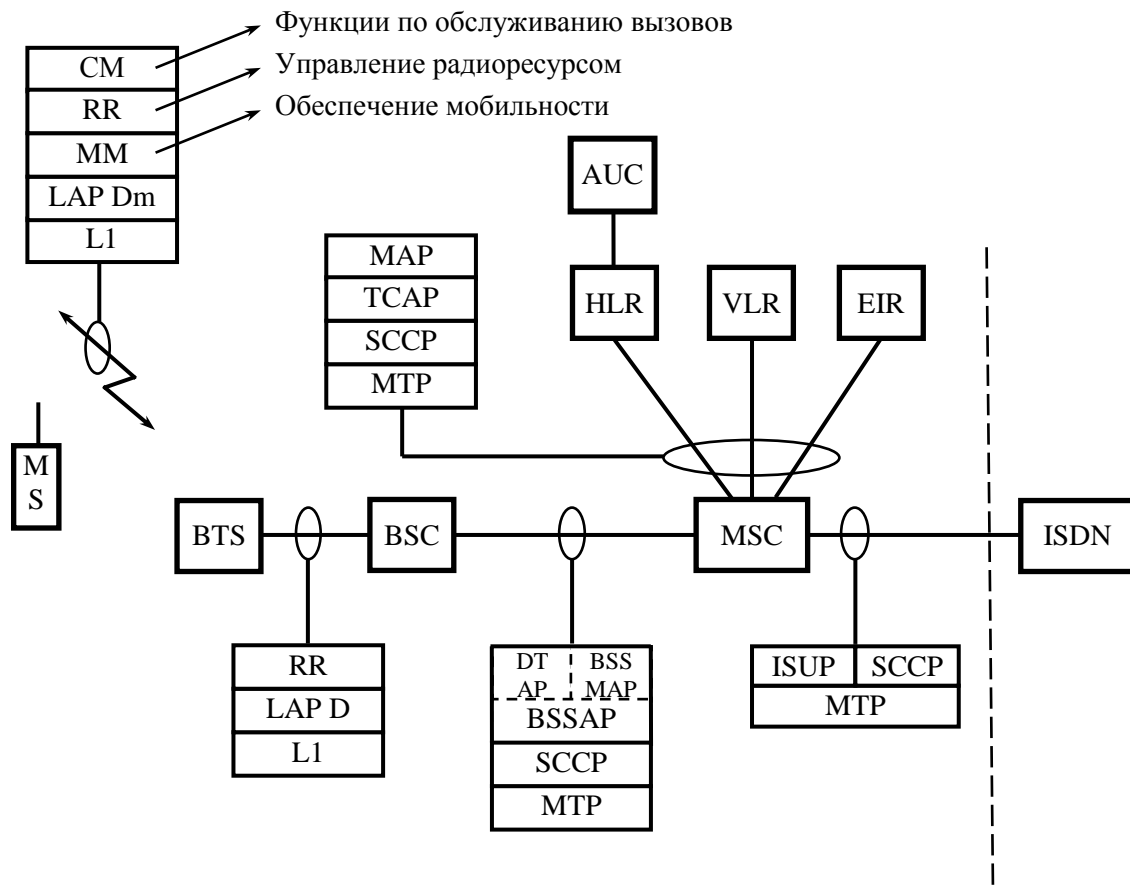


Рис. 2.27

2.8. Технология GPRS

Общеизвестно, что телекоммуникационные сети и системы предоставляют возможность абонентам обмениваться информацией, получать, передавать и хранить информацию. Однако масштабное слияние «коммуникатора» и «носителя» информации произошло только в сети Internet, базирующейся на технологии коммутации пакетов TCP/IP. Не секрет, что сегодня для многих абонентов основным источником информации является сеть Internet. Учитывая это, традиционные операторы связи стараются обеспечить доступ своим абонентам к сети Internet, используя различные технологии. Так, например, PSTN/ISDN широко используют технологии xDSL и PON.

Технологией, позволившей расширить возможности стандарта GSM в части доступа к сетям с коммутацией пакетов, является технология GPRS (General Packet Radio Service) стандартизированная ETSI GSM 03.60. Следует иметь в виду, что организация доступа к пакетным сетям в сотовых сетях связи значительно сложнее, чем в фиксированных из-за необходимости обеспечения персональной мобильности. Изменения в архитектуре

сети GSM при использовании технологии GPRS, предложенные ETSI, представлены на рис. 2.28. Как отмечалось ранее, для передачи информации на радиоучастке используется восемь цифровых каналов каждого радиоканала. При этом на этапе проектирования определяется, в каком режиме каждый из них используется: в режиме коммутации каналов, в режиме коммутации пакетов, либо в режиме коммутации каналов и пакетов.

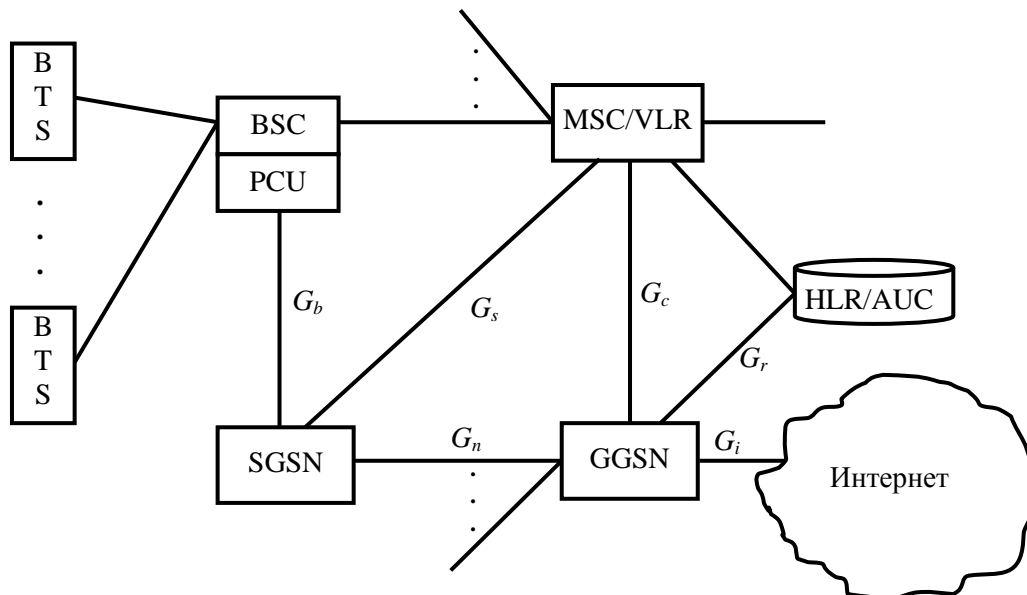


Рис. 2.28

Как видно из рисунка, технология GPRS предусматривает введение новых сетевых компонент. Остановимся чуть подробнее на их назначении.

PCU (Packet Control Unit) – модуль управления пакетами. Основными функциями PCU являются:

- контроль цифровых каналов каждого радиоканала с целью определения, в каком режиме должна обрабатываться поступающая информация. Если в режиме коммутации каналов, то она направляется на MSC/VLR, если же в режиме коммутации пакетов, то она направляется на SGSN;
- обеспечение бесконфликтного доступа множества пакетов к одному радиоресурсу;
- выбор оптимальной схемы канального кодирования;
- динамическое выделение ресурсов на Abis интерфейсе;
- обработка измерений и статистических данных;
- контроль за сменой сот.

SGSN (Serving GPRS Support Node) – узел реализации услуг. SGSN является основным узлом при коммутации пакетов в технологии GPRS, как и MSC при коммутации каналов. На SGSN возлагаются следующие функциональные задачи:

- управление мобильностью, т. е. реализация всех процедур, связанных с обеспечением персональной мобильности;

- обеспечение безопасности при передаче данных и доступе к сети (аутентификация, назначение P-TMSI, закрытие информации);
- ведение базы данных обслуживаемых MS, их локализацию и обеспечение требуемых параметров качества реализации услуг (QoS);
- генерация информации тарификации и ее передача в биллинг центр;
- взаимодействие с MSC/VLR и HLR;
- маршрутизация пакетов между MS и пакетной сетью (Internet) с использованием протокола туннелирования GTR.

GGSN (Gateway Support Node) – шлюзовый узел. На GGSN возлагаются следующие функции:

- обеспечение интерфейса между SGSN, которых может быть несколько, в зависимости от конфигурации сети, и внешними сетями с коммутацией пакетов. То есть взаимодействие GGSN с SGSN должно осуществляться в соответствии с протоколами, определенными спецификациями ETSI, а взаимодействие GGSN с внешними сетями – в соответствии с протоколами, используемыми этими сетями;
- выделение IP адресов MS на время реализации услуги;
- обеспечение требуемых параметров QoS за счет управления доступными ресурсами и установления очередности пакетов.

Следует отметить, что внедрение технологии GPRS требует не только введения новых компонент, но и модернизации программного обеспечения HLR и VLR, так как в них дополнительно должна содержаться информация (профили) об услугах по передаче информации в режиме коммутации пакетов.

Введение новых компонент и расширение функциональных возможностей требуют использования новых протоколов на интерфейсах между внедряемыми компонентами, а также между внедряемыми компонентами и уже существующими. На рис. 2.29 представлен стек протоколов, предложенный ETSI для передачи пользовательских пакетных данных с использованием технологии GPRS.

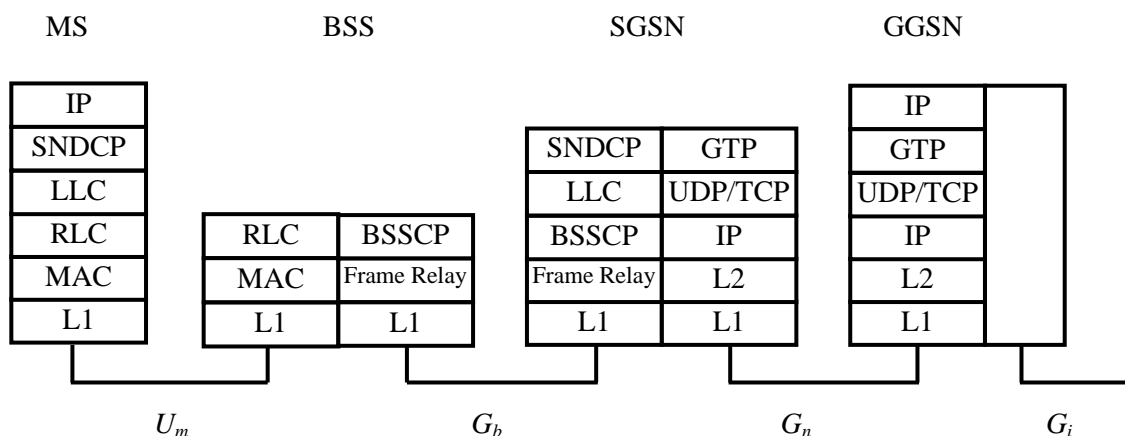


Рис. 2.29

SNDCP (Sub Network Dependent Convergence Protocol GSM 04.65).

Данный протокол определяет правила сегментирования и последующей сборки длинных IP пакетов пользовательской информации. Сегментация необходима для обеспечения передачи информации по радиоканалам.

LLC (Logical Link Control GSM 04/65). Протокол LLC обеспечивает логическое соединение между MS и SGSN. Он независим от протоколов нижних уровней радиointерфейса. На него возлагаются функции:

- обнаружение (CRC 24) и исправление ошибок;
- закрытие информации (шифрование);
- обеспечение заданных параметров QoS .

RLC (Radio Link Control). Протоколы RLC и MAC реализуют функции канального уровня. Основной задачей RLC является мультиплексирование до 8 цифровых каналов радиоканала для одной MS, либо обеспечение доступа нескольких MS к одному цифровому каналу.

MAC (Medium Access Control). MAC уровень обеспечивает управление сигнальными процедурами через U_m интерфейс в процессе запроса и выделения радиоканала, включая формирование очереди в соответствии с приоритетами пакетов.

BSSGP (Base Station Subsystem GPRS Protocol GSM08.18). Задачей данного протокола является транспортировка LLC кадров, информации маршрутизации и QoS между PCU и SGSN.

FR (Frame Relay). Протокол сетей передачи данных с коммутацией пакетов с использованием виртуальных соединений.

GTP (GPRS Tunneling Protocol GSM 09.60). Протокол GTP служит для создания логических туннелей к внешней сети, используя принципы инкапсуляции.

Следует отметить, что при обмене сигнальной информацией между MS и SGSN при обеспечении мобильности MS (GPRS Mobility Management and Session Management) не используется протокол SNDCP.

3. СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА UMTS

Задачей данной главы является только рассмотрение основных особенностей стандарта UMTS. Это обусловлено тем, что подходы и решения, полученные при разработке и эволюции стандарта UMTS, использованы при создании стандарта мобильной связи нового поколения – LTE. Рассмотрению же принципов построения и функционирования сетей мобильной связи стандарта LTE посвящена следующая глава.

Стандарт UMTS является развитием стандарта GSM/GPRS в части сети радиодоступа при сохранении базовой сети (Core Network). В основу стандарта UMTS положена технология WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), технология широкополосного множественного доступа с кодовым разделением каналов, принятая ETSI в 1998 г. При этом дуплексность связи обеспечивается как по принципу разнесения частот FDD (Frequency Division Duplex), так и по принципу разделения во времени TDD (Time Division Duplex).

Технология WCDMA базируется на использовании каналообразующих и скремблирующих кодов.

Использование каналообразующих кодов дает возможность в одной полосе частот передавать сигналы множества пользователей за счет использования ортогональных кодовых последовательностей $C_i(t)$.

Пусть для передачи мы имеем биполярный цифровой сигнал $U(t)$ с уровнями нуля и единицы -1 и $+1$ соответственно (рис. 3.1).

Умножаем его на кодовую последовательность $C_1(t)$. При этом на каждый информационный бит приходится m чипов кодовой последовательности. Здесь и далее для цифровой информации будем использовать понятие «бит», а во избежание путаницы для кодовой последовательности – понятие «чип». В рассматриваемом примере $m = 8$. На практике число $m = 4 \div 256$. В результате умножения получаем последовательность $V(t) = U(t) \times C_1(t)$, которая и передается по каналу связи. На приемной стороне принятый сигнал $V(t)$ умножаем на ту же самую кодовую последовательность $C_1(t)$ и получаем $U_{\text{пр}}(t) = V(t) \times C_1(t)$. После этого вычисляем корреляционную функцию $U_{\text{пр}}(t)$, интегрируя ее на временном интервале каждого бита (0–1, 1–2, 2–3). В результате в конце каждого промежутка времени, соответствующего времени передачи каждого бита, получаем отрицательное или положительное число в соответствии с переданным информационным битом.

Теперь попробуем принятый сигнал $V(t)$ умножить на другую кодовую последовательность, например $C_2(t)$, тогда получим $U'_{\text{пр}}(t) = V(t) \times C_2(t)$.

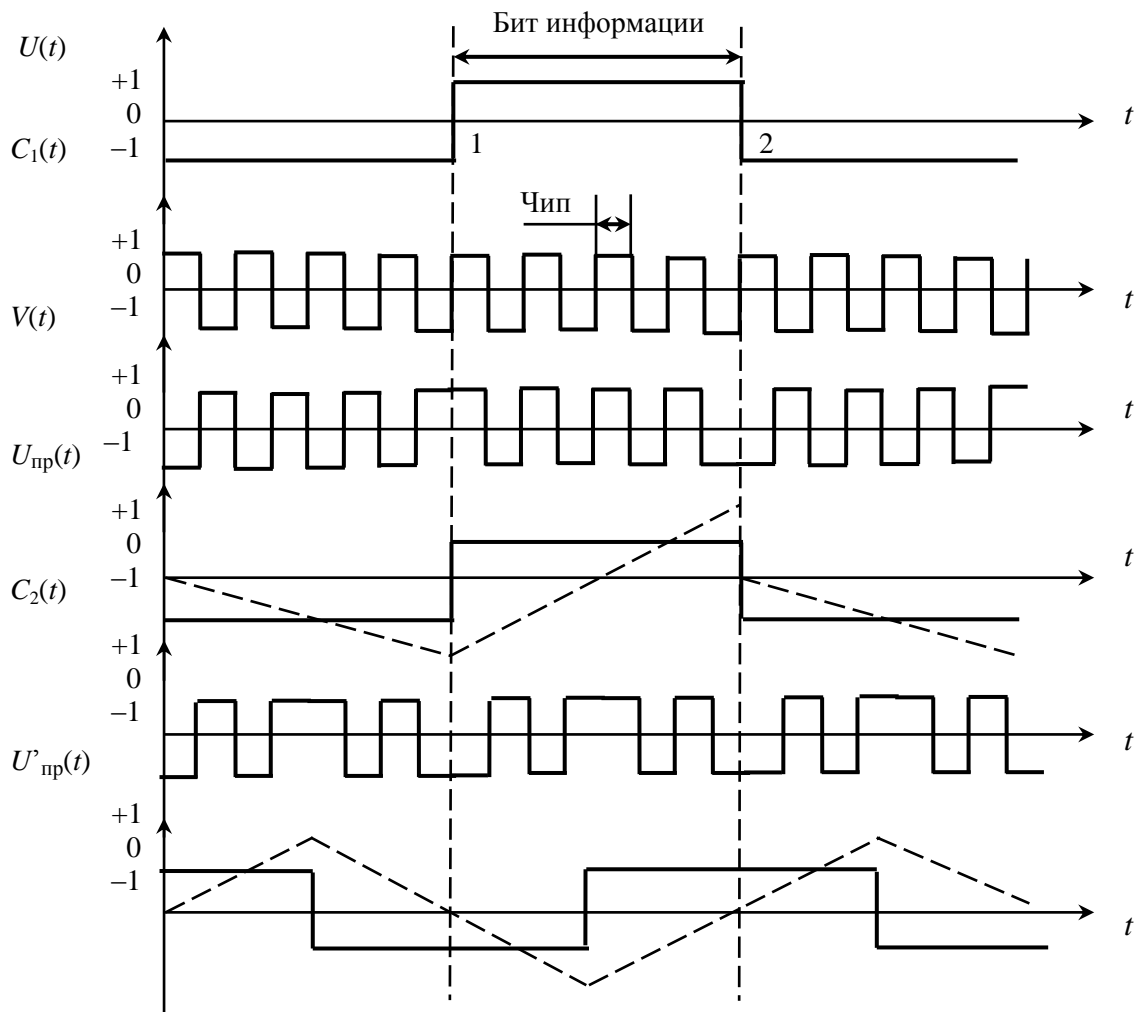


Рис. 3.1

После интегрирования $U'_{\text{пр}}(t)$ в конце каждого бита получим результат, равный нулю.

Таким образом, для конкретного сигнала должна использоваться одна и та же кодовая последовательность $C_i(t)$ как на передающей, так и на приемной стороне.

Отношение скорости следования чип-кодовой последовательности к скорости следования бит информации называют коэффициентом расширения спектра SF.

Использование скремблирующих кодов позволяет закрывать (делать независимой от других) каждую базовую станцию. В качестве скремблирующих кодов используют m -последовательности, автокорреляционная функция которых имеет один узкий максимум при нулевом сдвиге чипов.

Следует отметить, что чиповые скорости каналовобразующих и скремблирующих кодов одинаковы.

Условно каждый бит информации на радиointерфейсе можно представить в виде «ящика», объем которого постоянен, но размеры изменяются в зависимости от ситуации (рис. 3.2).

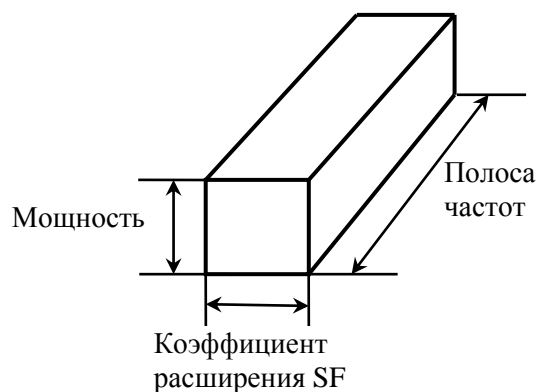


Рис. 3.2

Полоса частот величина постоянная, изменяться могут мощность и коэффициент расширения. Следовательно, чем больше коэффициент расширения, тем меньше мощность бита. Фактически это означает, что чем выше скорость передачи, тем больше должна быть мощность соответствующего передатчика и тем меньше дальность связи. Кроме того, требуемая мощность сигнала на входе приемника зависит от уровня суммарных помех, так что размеры соты меняются в зависимости от числа подвижных станций в данной и смежной сотах. Говорят, что сота «дышит» в зависимости от нагрузки.

В соответствии со спецификациями 3GPP для стандарта UMTS с FDD выделена основная рабочая полоса частот 1920-1980 МГц для восходящего направления и 2110-2170 МГц для нисходящего направления передачи.

Базовый вариант предусматривает передачу информации с чиповой скоростью 3,84 Мчип/с в полосе 5 МГц (с учетом защитных интервалов) при дуплексном разносе сигналов двух направлений передачи 190 МГц. Различным скоростям передачи информации соответствуют и различные значения коэффициента расширения SF. В табл. 3.1 представлены соотношения скорости передачи информации и значения SF при чиповой скорости 3,84 Мчип/с.

Таблица 3.1

SF	2	4	8	16	32	64	128	256	512
Скорость, кбит/с	1920	960	480	240	120	60	30	15	7,5

Архитектура сети мобильной связи стандарта UMTS как развитие стандарта GSM/GPRS в соответствии со спецификациями 3GPP (релиз 99) представлена на рис. 3.3.

Как видно из рисунка, на существующую инфраструктуру GSM/GPRS наложена новая сеть радиодоступа UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network). В состав UTRAN входят новые компоненты: контроллер сети радиодоступа RNC (Radio Network Controller) и базовая станция NodeB. Организация взаимодействия NodeB с подвижными станциями UE (User Equipment) осуществляется на базе технологии WCDMA. При этом UE

могут быть выделены несколько каналов на радиочастоте RAB (Radio Access Bearer), которые объединяют в RRC (Radio Resource Connection) соединение. В UTRAN введено и новое понятие – сквозной канал (Bearer).

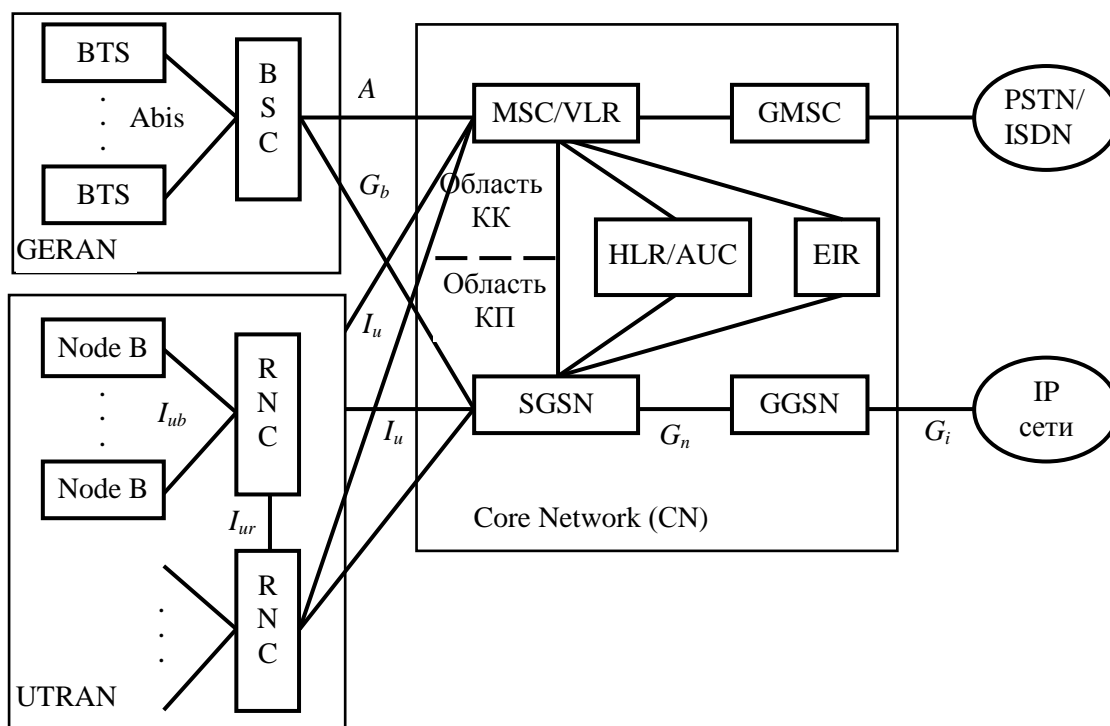


Рис. 3.3

При разработке транспортной инфраструктуры (Backhaul), обеспечивающей взаимодействие компонент сети UTRAN, создатели стандарта изначально ориентировались на использование пакетных технологий.

Выбор пал на технологию АТМ (Asynchronous Transfer Mode), которая в конце 90-х гг. считалась наиболее перспективной.

Компоненты базовой сети CN также подверглись модернизации. Так, например, стандарт UMTS использует новый механизм обеспечения безопасности в сети. Следовательно, CN должна поддерживать оба режима как старый, так и новый. Наиболее существенные изменения коснулись SGSN. В GSM/GPRS SGSN в основном отвечал за управление мобильностью при обмене пакетной информацией. В UMTS функции управления мобильностью разделены между RNC и SGSN.

Стандарт UMTS не является статичным стандартом. Он динамически развивается от релиза к релизу.

Релиз 4 (3GPP R4)

Согласно документам 3GPP, наиболее важные изменения произошли в базовой сети CN. Эти изменения коснулись в первую очередь области, обеспечивающей коммутацию каналов в связи с внедрением IP технологий

на транспортной сети. Суть этих изменений в том, что функции MSC разделяются между MSC-S (MSC Server) и MGW (Media Gateway). Основной задачей MGW является коммутация пользовательской информации. Все же функции управления, включая реализацию процедур, взял на себя MSC-S. При этом один MSC-S может управлять несколькими MGW.

Релиз 5(3GPP R5)

С точки зрения значимости, для дальнейшего развития (последующих релизов) являются изменения, внесенные в базовую сеть. Изменения предусматривают создание новой области базовой сети – IMS (IP Multimedia Subsystem).

IMS базируется на IP технологиях без разделения на коммутацию каналов и коммутацию пакетов. По сути дела, IMS есть реализация концепции NGN для сетей мобильной связи.

Релиз 6(3GPP R6)

Документы 3GPP R6 направлены в первую очередь на совершенствование IMS. Кроме того, в документах уделяется внимание повышению пропускной способности и развитию мультимедийных услуг MBMS (Multimedia Broadcast/Multicast Service).

Релиз 7(3GPP R7)

Спецификациями данного релиза определен порядок использования многоантенной технологии MIMO (Multiple Input Multiple Output). R7 затрагивает и изменение архитектуры сети.

На рис. 3.4 представлены изменения архитектуры сети от R6 до R8.

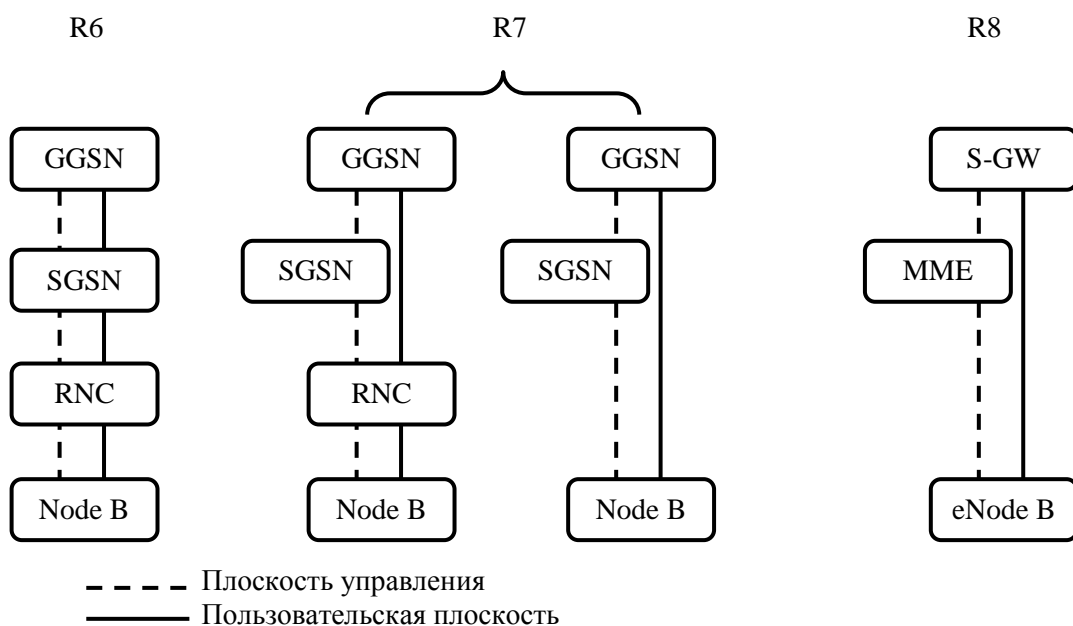


Рис. 3.4

4. СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА LTE

Развитие технологий и совершенствование элементной базы создают предпосылки к появлению новых решений и в телекоммуникационной области. Так, в начале 2000-х гг. появилась концепция NGN (Next Generation Network) для фиксированных сетей. Кроме того, развитие технологий способствовало и развитию «всемирной паутины» и концентрации информации в ней, что привело к превалированию IP трафика. Это сделало технологию TCP/IP базовой в области телекоммуникаций, хотя она не создавалась как технология сетей общего пользования.

Следует отметить, что партнерство 3GPP уделяет внимание не только внедрению новых технологий в сети радиодоступа (RAN—Radio Access Network), но и в базовые сети (Core Network). Так, в релизе 5 3GPP приводятся спецификации по архитектуре мультимедийной сети на базе технологии IMS—IP Multimedia Subsystem. По сути дела, можно сказать, что IMS есть реализация концепции NGN для мобильных сетей связи.

Таким образом, как в фиксированных сетях, так и в сетях мобильной связи осуществляется переход к All-IP, т. е. использование IP технологий от терминального оборудования до терминального оборудования.

Итак, можно считать, что развитие технологий привело к появлению 4-го поколения (4G) систем мобильной связи, которое получило название LTE—Long Term Evolution. Спецификации по LTE были представлены 3GPP в релизе 8.

Стандарт LTE базируется на технологии OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), т. е. мультиплексирования с помощью ортогональных поднесущих. Ортогональность означает, что взаимная энергия между ортогональными сигналами равна нулю, следовательно, они не оказывают никакого влияния друг на друга. Таким образом, частотный диапазон равномерно разбивается между поднесущими, число которых может достигать до нескольких тысяч. Конкретное число поднесущих определяется величиной диапазона и расстоянием между поднесущими Δf . Длительность же одного OFDM символа $\tau = 1/\Delta f$. В качестве примера на рис. 4.1 представлен спектр OFDM сигнала, состоящего из 7 поднесущих.

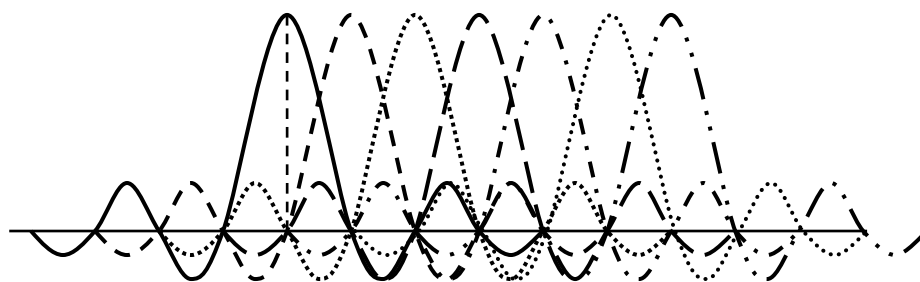


Рис. 4.1

Кроме того, технология OFDM использует БПФ – быстрое преобразование Фурье (FFT – Fast Fourier Transform), позволяющего в цифровом виде преобразовать сигнал в его спектр и ОБПФ – обратное преобразование Фурье (IFFT Inverse Fast Fourier Transform), преобразующие в цифровом виде спектр в сигнал.

В LTE, в зависимости от условий передачи, могут быть использованы различные способы модуляции для каждой из поднесущих. Термин «цифровая модуляция» часто заменяют на «манипуляция», однако далее мы будем использовать термин «модуляция». Наиболее распространенным способом модуляции является КАМ – квадратурная амплитудная модуляция (QAM – Quadrature Amplitude Modulation) видов 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM. Впереди стоящая цифра отображает число возможных состояний, кодируемых одним символом модуляции. 4-QAM в литературе чаще называют QPSK (Quaternary Phase Shift Keying). Изобразим все возможные состояния 16-QAM на фазовой плоскости (рис. 4.2).

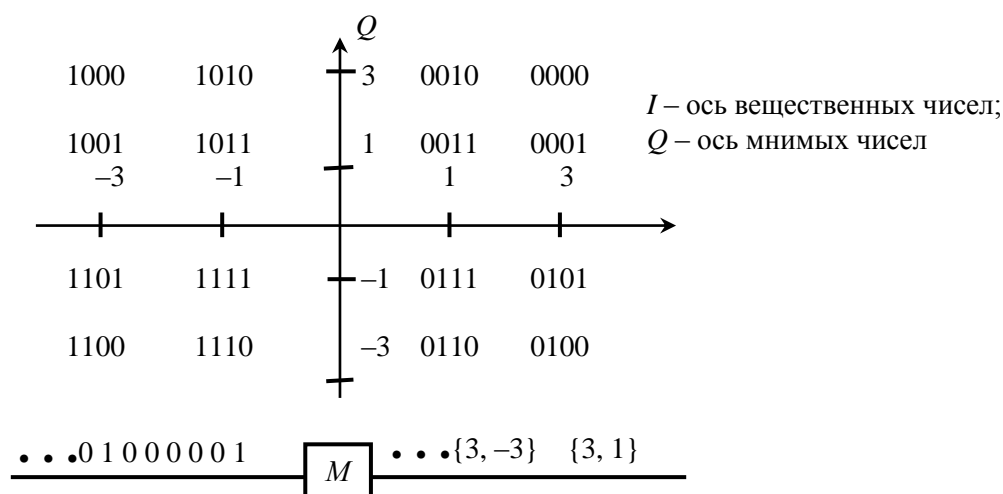


Рис. 4.2

Задачей модулятора 16-QAM является представление каждого 4 бит цифрового потока в виде комплексного модуляционного символа $C_j = \{I_{QAM}(j), Q_{QAM}(j)\}$, где j – порядковый номер блока из 4 бит. Например: 0001 – {3, 1}; 0100 – {3, -3} и т. д. Таким образом, можно сказать, что синтетическим методом создается спектр сигнала.

Функциональная схема OFDM приемника и передатчика представлена на рис. 4.3.

В направлении передачи поступающий цифровой поток разделяется на N потоков по числу поднесущих. Каждый из N потоков независимо модулируется модулятором M . На выходе каждого модулятора получаем комплексные модуляционные символы. Совокупность этих комплексных модуляционных символов и представляет собой искусственно созданный

спектр сигнала, подлежащего передаче. С помощью обратного преобразования Фурье IFFT из спектра получаем сам сигнал в виде OFDM символов (набора чисел). При этом отдельно формируется вещественная и мнимая части. После формирования OFDM символов добавляется защитный интервал ЦП – циклический префикс (CP – Cyclic Prefix). Это возможно сделать, так как цифровой поток разделяется на N потоков, скорость передачи которых ниже первоначальной. В качестве CP используется копия окончания OFDM символа, что позволяет сохранить ортогональность. Чем длиннее защитный интервал, тем в более сложных условиях может передаваться OFDM сигнал. CP служит для борьбы с межсимвольной интерференцией, возникающей, например, из-за многолучевости. После формирования OFDM символов с защитными интервалами осуществляется цифро-аналоговое преобразование сигнала (ЦАП). С выхода ЦАП аналоговые сигналы поступают на полосовой модулятор, в котором осуществляется перенос спектра OFDM символов с CP в область высоких частот.

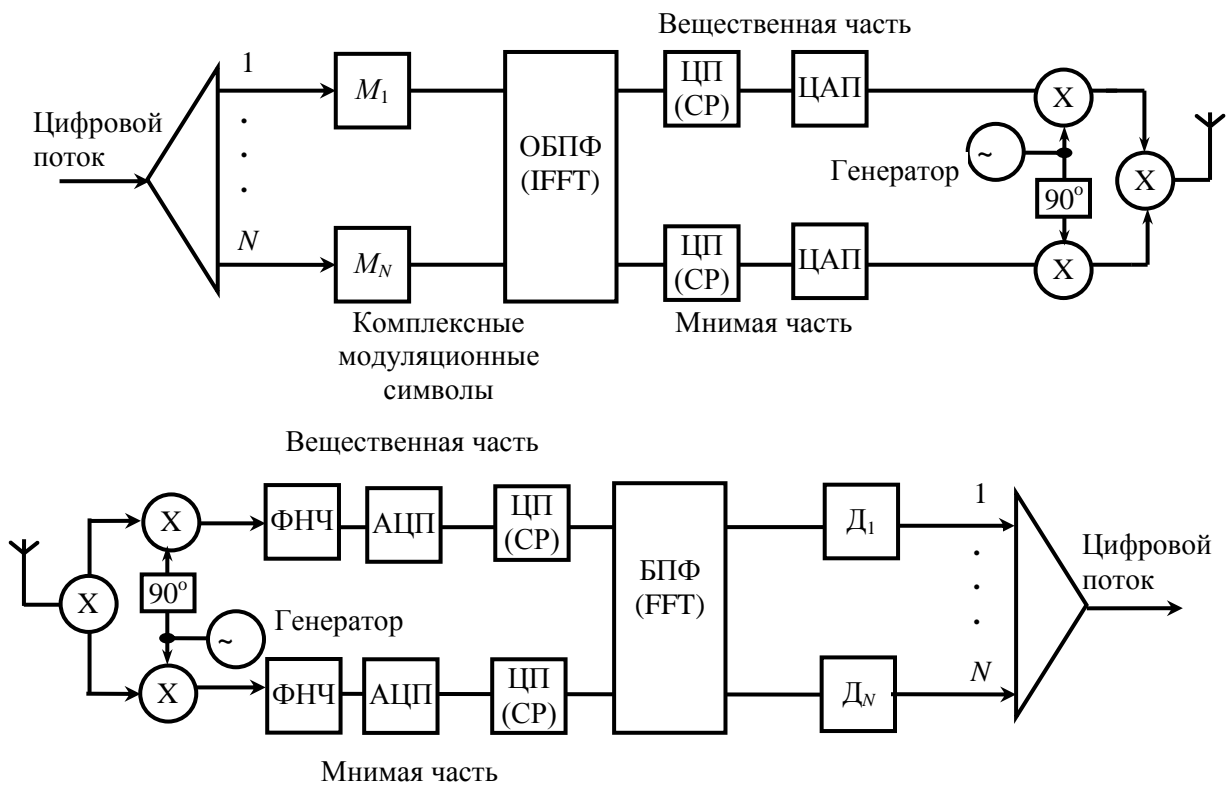


Рис. 4.3

Прием OFDM сигналов осуществляется в обратном порядке. При этом из сигнала с помощью быстрого преобразования Фурье FFT получаем его спектр в виде комплексных модуляционных символов, представленных в цифровой форме. Комплексные модуляционные символы в демодуляторах D преобразуются в N цифровых потоков, после объединения которых получаем принятый цифровой поток.

Однако следует отметить, что OFDM сигнал имеет высокое значение пик-фактора (PAR – Peak Average Rate), т. е. высокое соотношение пиковой и средней мощности. Учитывая это, стандарт LTE использует технологию OFDM только при передаче информации в нисходящем канале (от базовой станции к подвижной). Для того чтобы повысить энергоэффективность и упростить передающее оборудование подвижных станций за счет снижения пик-фактора, стандарт LTE при передаче информации в восходящем канале (от подвижной станции к базовой) использует модифицированную технологию SC-FDMA (Single Carrier – Frequency Division Multiple Access). Принципиальным отличием является то, что в отличие от OFDM, где для каждой поднесущей используется свой модуляционный символ, в SC-FDMA все поднесущие модулируются одинаково (рис. 4.4).

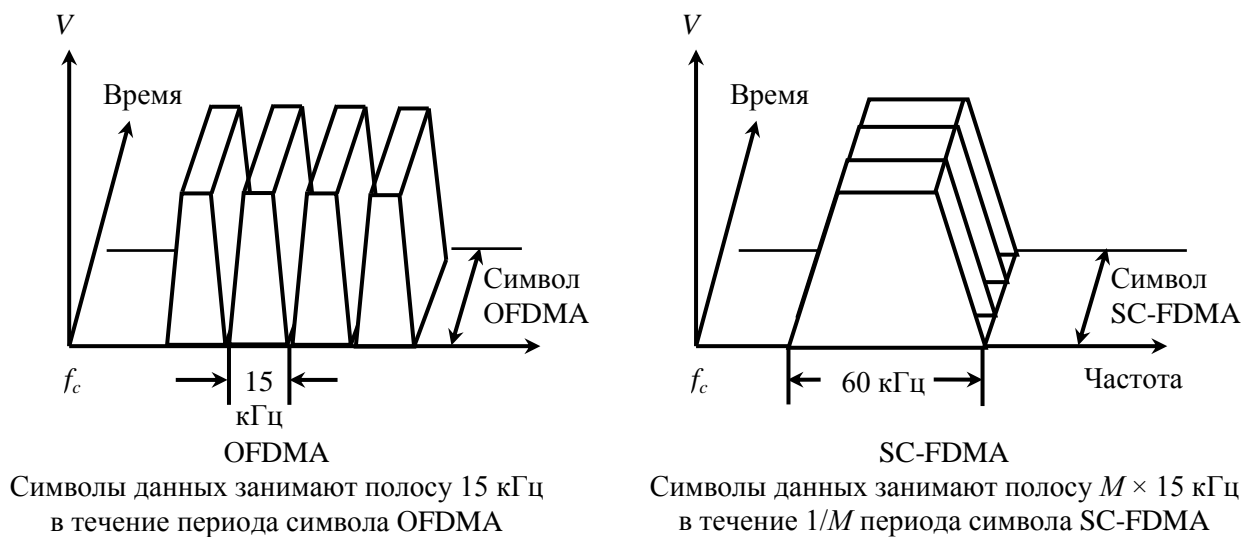


Рис. 4.4

Вышеизложенное позволяет считать, что технология OFDMA/SC-FDMA обладает такими положительными качествами, как:

- высокая эффективность использования радиочастотного спектра;
- простая аппаратная реализация за счет использования цифровой обработки;
- хорошее противостояние межсимвольным помехам и интерференции между поднесущими, а следовательно, и многолучевости;
- возможность использования различных способов модуляции для поднесущих, что позволяет адаптивно варьировать помехоустойчивость и скорость передачи информации.

Однако при этом возрастают требования к синхронизации по частоте и времени, а также чувствительность к эффекту Доплера.

4.1. Архитектура сети мобильной связи стандарта LTE

Функционально сеть мобильной связи стандарта LTE, в соответствии со спецификациями 3GPP, состоит из двух частей: сети радиодоступа E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) и открытой пакетной сети поддержки EPC (Evolved Packet Core). E-UTRAN состоит

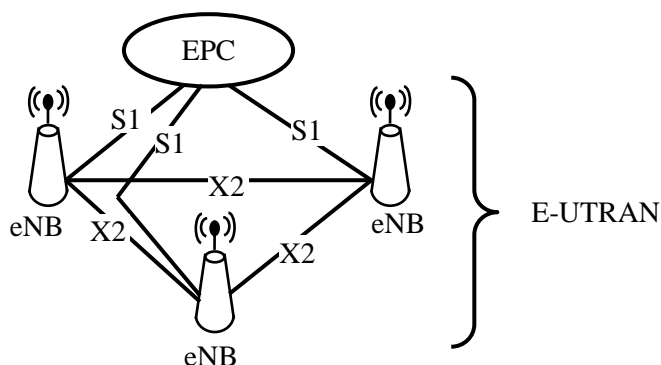


Рис. 4.5

из совокупности базовых станций eNodeB (eNB). Соседние eNB соединены между собой интерфейсом X2, а их взаимодействие с EPC осуществляется по интерфейсу S1, как это показано на рис. 4.5. Кроме того, возможны транзитные связи между eNB через EPC.

На eNB в сети стандарта LTE возложено выполнение таких функций, как:

- управление радиоресурсами (распределение радиоканалов и динамическое распределение ресурсов в нисходящем и восходящем направлениях передачи);
- обеспечение гарантированной доставки и целостности информации, передаваемой по радиоканалам;
- сжатие заголовков IP-пакетов и закрытие (шифрацию) пользовательской информации;
- выбор блока управления мобильностью (MME) в сети EPC;
- маршрутизация пакетов пользовательской информации по направлению к EPC (к S-GW);
- диспетчеризация и передача вызывной и вещательной информации, получаемой от EPC (от MME);
- измерения и составление отчетов, необходимых для управления мобильностью, в том числе принятие решения об инициации процедуры переключения вызова (Handover) и первые этапы ее реализации;
- поддержка многоантенной технологии MIMO (Multiple Input Multiple Output).

Технология MIMO используется либо для повышения качества доставки информации, либо повышения скорости передачи. Стандарт LTE использует схемы MIMO, содержащие 1, 2 и 4 передающих и приемных антенн в различных сочетаниях.

Для повышения качества доставки информации используется диверсифицированный способ передачи (пространственное/временное/частотное кодирование). В этом случае группа символов передается либо последова-

тельно во времени на одной несущей (пространственно-временное кодирование), либо одновременно на нескольких поднесущих (пространственно-частотное кодирование) параллельными потоками. На практике широкое применение нашла схема Аламоути пространственно-временного кодирования STC – Space Time Coding).

Повышение скорости передачи обеспечивается за счет пространственного мультиплексирования, которое реализуется на основе многослойных структур. Передаваемый информационный поток разделяется на слои (layers), которые с помощью специальных MIMO кодирующих матриц (precoding) преобразуются для передачи через отдельные антенны, число которых может достигать четырех, и число антенн базовой станции (eNB) должно соответствовать числу антенн подвижной станции (UE). Число слоев определяет ранг структуры. При этом в LTE используют два варианта пространственного мультиплексирования: однокодový (SCW – single code word) и многокодový (MCW – multiple code word). Кроме того, при нисходящем направлении передачи системы MIMO классифицируют как однопользовательские (SU-MIMO – Single-User MIMO) и многопользовательские (MUMIMO – Multi-User MIMO). SU-MIMO предназначена для обслуживания только одной подвижной станции (UE). MUMIMO применяют, когда eNB в одном канале передает информацию для нескольких UE.

Архитектура сети мобильной связи стандарта LTE представлена на рис. 4.6. Рассмотрим функциональное назначение компонент EPC.

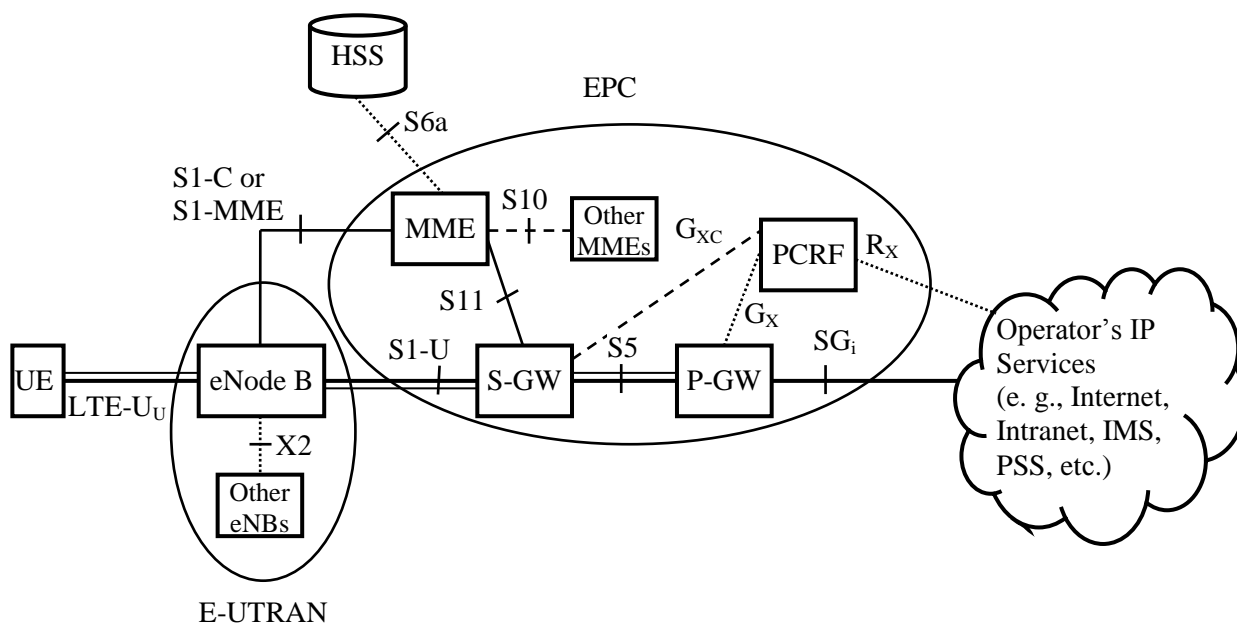


Рис. 4.6

UE – User Equipment. Подвижная станция, которая, как и в предыдущих стандартах, состоит непосредственно из самого оборудования и SIM

карты. В процессе работы в сети E-UTRAN UE может находиться в одном из 3 возможных состояний, как это показано на рис. 4.7.

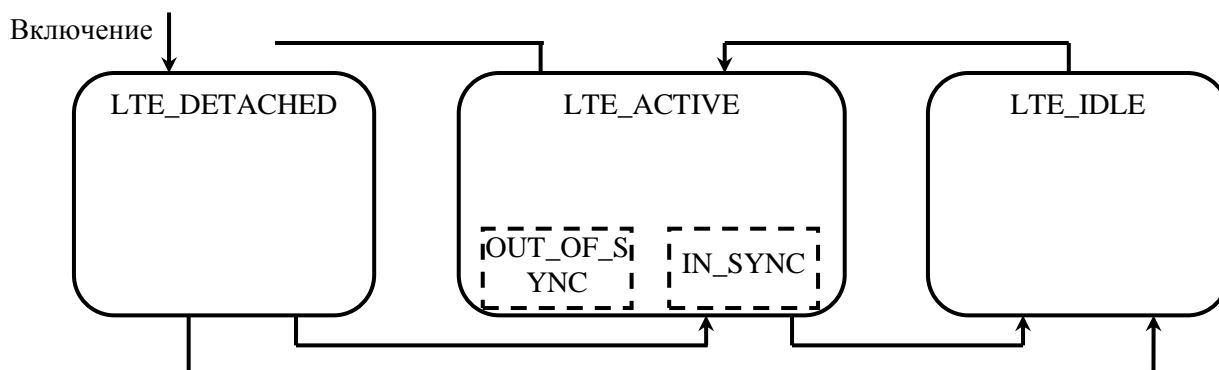


Рис. 4.7

В состоянии LTE_DETACHED UE находится после ее включения. В этом состоянии UE не зарегистрирована в сети и не имеет IP-адреса.

После выполнения процедуры доступа к сети UE получает регистрацию в сети и IP-адрес и переходит в состояние LTE_ACTIVE. В данном состоянии UE связана с конкретным eNB и обмен информацией идет по U_U интерфейсу. Состояние LTE_ACTIVE имеет два варианта: OUT_OF_SYNC и IN_SYNC в зависимости от того, есть или нет синхронизации с eNB для передачи информации в восходящем направлении. В состоянии LTE_IDLE UE переводят на время пауз между сеансами связи. В этом состоянии UE находится в режиме ожидания. В целях экономии питания приемник включается периодически для приема сигналов системного управления и пейджинга. Для перехода из состояния LTE_IDLE в состояние LTE_ACTIVE необходимо выполнить процедуру доступа к сети.

MME – Mobility Management Entity. Блок управления мобильностью реализует процедуры, необходимые для обеспечения персональной мобильности. На MME возлагаются следующие задачи:

- аутентификация;
- обновление данных местонахождения (Tracking Area Update);
- управление списками зон слежения (Tracking Area);
- авторизация;
- выбор обслуживающего шлюза (S-GW) EPC для сетей радиодоступа различных стандартов;
- выбор нового блока MME для переключения вызова (Handover);
- передача закрытой информации о точках доступа к услугам;
- поддержка передач информации в вещательном режиме.

S-GW – Serving Gateway. Обслуживающий шлюз отвечает за выполнение следующих функций:

- маршрутизация пакетов данных;
- выбор точки «привязки» при переключении вызова (Handover);
- буферизация пакетов для UE, находящихся в состоянии ожидания (Idle Mode);
- установка показателей качества (QoS) предоставляемых услуг;
- формирование и передача учетных данных для тарификации;
- санкционированный перехват пользовательской информации.

P-GW – Packet Data Network Gateway. Шлюз доступа к внешним IP-сетям (IMS, Internet). P-GW обеспечивает UE IP-адресом. Если UE имеет статический IP-адрес, P-GW осуществляет его активацию. Если же UE не имеет IP-адреса, то необходимо предоставить динамический IP-адрес на время сеанса связи. P-GW запрашивает его у сервера DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), либо сам реализует функции DHCP. Полученный динамический IP-адрес P-GW доставляет UE. В состав P-GW входит функция PCEF (Policy and Charging Enforcement Function) с помощью которой обеспечиваются требуемые характеристики QoS услуг при взаимодействии с внешними IP-сетями.

PCRF – Policy and Charging Resource Function. PCRF представляет собой управляющий сервер, обеспечивающий централизованное управление ресурсами EPC, учет и тарификацию предоставляемых услуг. Как только появляется запрос на реализацию услуги, эта информация направляется в PCRF. Он оценивает имеющиеся в его распоряжении сетевые ресурсы и передает команду P-GW (функции PCEF) на установку требуемых характеристик QoS и порядку тарификации.

HSS – Home Subscriber Server. Сервер абонентских данных конкретной сети оператора связи. Как и HLR, сети GSM, HSS содержит абонентские данные о UE только тех абонентов, которые заключили договор на предоставление услуг с данной сетью. Данная компонента не входит в состав EPC, а принадлежит IMS.

4.2. Идентификаторы в сети LTE

При обмене информацией в процессе реализации процедур, включая реализацию услуг, должны быть четко определены компоненты сети. Для определения компонент сети используются идентификаторы. Перечень идентификаторов и их краткое описание представлены в табл. 4.1

Таблица 4.1

Аббре-виатура	Наименование	Описание	Размер	Тип П – пост. В – врем.
IMSI	Interional Mobile Subscriber Identity Международный идентификатор UE (SIM карты)	Уникальный идентификатор мобильного (LTE) терминала (UE)	max 15 цифр (IMSI = PLMN ID + MSIN = MCC + MNC + MSIN)	П
PLMN ID	Public Land Mobile Network Identifier Идентификатор сети мобильной связи	Является первыми 5–6 цифрами IMSI-номера	max 6 цифр (PLMN ID = MCC + MNC)	П
MCC	Mobile Country Code Код страны	Уникальный идентификатор страны	3 цифры	П
MNC	Mobile Network Code Национальный код мобильной сети оператора связи	Уникален в стране с конкретным MCC	2–3 цифры	П
MSIN	Mobile Subscriber Identification Number Индивидуальный номер UE в пределах сети	Назначается оператором	9–10 цифр	П
GUTI	Globally Unique Temporary UE Identity Временный глобальный идентификатор UE	Используется UE и MME для обеспечения безопасности	max 80 бит (GUTI = GUMMEI + M-TMSI)	В
TIN	Temporary Identity used in Next Update Указатель следующего временного Идентификатора	TIN указывает, какой GUTI будет использоваться при следующем обращении	max 80 бит TIN = GUTI	В
S-TMSI	SAE Temporary Mobile Subscriber Identity Временный идентификатор UE в EPC	Используется для маркировки UE в пределах группы MME во время пейджинга. Если он недоступен, то используется IMSI	40 бит (S-TMSI = MMEC + M-TMSI)	В

Продолжение табл. 4.1

Аббре-виатура	Наименование	Описание	Размер	Тип П – пост. В – врем.
M-TMSI	MME Mobile Subscriber Identity Временный идентификатор UE в MME	Используется для маркировки UE в пределах одного конкретного MME	32 бита	В
GUMMEI	Globally Unique MME Identity Глобальный уникальный идентификатор MME	Используется для глобальной идентификации MME, содержится в GUTI	max 48 бит (GUMMEI = PLMN ID + MMEI)	П
MMEI	MME Identifier Идентификатор MME	Уникально идентифицирует MME в пределах мобильной сети (PLMN)	24 бита (MMEI = MMEGI + MMEC)	П
MMEGI	MME Group Identifier Идентификатор группы MME	Уникален в пределах мобильной сети (PLMN)	16 бит	П
MMEC	MME Code Код MME	Уникально идентифицирует MME в пределах одной группы MME	8 бит	П
C-RNTI	Cell- Radio Network Temporary Identifier Временный идентификатор UE в пределах соты	Уникально идентифицирует UE в пределах одной соты	16 бит	В
eNB S1AP UE ID	eNBS1 Application Protocol UE ID Идентификатор UE прикладного протокола интерфейса S1 в eNB	Уникально идентифицирует UE со стороны eNB	32-битное целое число	В
MME S1AP UE ID	MMES1 Application Protocol UE ID Идентификатор UE прикладного протокола интерфейса S1 в MME	Уникально идентифицирует UE со стороны MME	32-битное целое число	В
IMEI	International Mobile Equipment Identity Международный идентификатор UE оборудования	Уникально идентифицирует оборудование UE	15 цифр (IMEI = TAC + SNR + CD)	П

Продолжение табл. 4.1

Аббре-виатура	Наименование	Описание	Размер	Тип П – пост. В – врем.
IMEI/SV	IMEI/Software Version IMEI/Версия программного обеспечения (ПО)	Уникально идентифицирует версию ПО UE	16 цифр (IMEI/SV = TAC + SNR + SVN)	П
ECGI	E-UTRAN Cell Global Identifier Глобальный идентификатор соты в E-UTRAN	Глобально идентифицирует соту	max 52 бита (ECGI = PLMN ID + ECI)	П
ECI	E-UTRAN Cell Identifier Идентификатор соты в E-UTRAN	Идентифицирует соту в пределах PLMN	28 бит (ECI= eNB ID + Cell ID)	П
Global eNB ID	Global eNodeB Identifier Глобальный идентификатор eNodeB	Идентифицирует eNodeB в глобальной сети	max 44 бита (Global eNB ID = PLMNID + eNBID)	П
eNB ID	eNodeB Identifier Идентификатор eNodeB	Идентифицирует eNodeB в пределах PLMN	20 бит	П
P-GW ID	PDN GW Identity Идентификатор PDN GW (P-GW)	Идентифицирует определенный PDN GW (P-GW). HSS назначает P-GWIP адрес (IP сеть для каждого соединения с UE)	4 байта(IP адрес) или FQDN переменной длины	П
TAI	Tracking Area Identity Идентификатор зоны слежения (местонахождения)	Глобально идентифицирует зону слежения (местонахождения)	max 32 бит (TAI = PLMN ID+ TAC)	П
TAC	Tracking Area Code Код зоны слежения	Указывает eNB какой зоне слежения она принадлежит. Уникален в пределах PLMN	16 бит	П
TAI List	Tracking Area Identity List Список идентификаторов зоны слежения	UE может перемещаться между сотами списка, при этом не прибегая к процедуре обновления зоны слежения (TA update)	(Переменная длинна)	П

Аббре-виатура	Наименование	Описание	Размер	Тип П – пост. В – врем.
PDN ID	Packet Data Network Identity Идентификатор внешней пакетной сети	Идентифицирует PDN (IP сеть) с которой пользователь хочет связаться. Идентификатор PDN используется, чтобы определить список возможных P-GW. Выбор P-GW из списка осуществляет MME	(Переменная длина)	П
EPS Bearer ID	Evolved Packet System Bearer Identifier Идентификатор логического соединения между UE и P-GW	Идентифицирует логическое соединение для каждого отдельного UE	4 бита	В
E-RAB ID	E-UTRAN Radio Access Bearer Identifier Идентификатор логического соединения между UE и MME	Идентифицирует E-RAB для каждого UE	4 бита	В
DRB ID	Data Radio Bearer Identifier Идентификатор логического соединения между UE и eNB	Идентифицирует DRB в отдельно взятом UE	4 бита	В
LBI	Linked EPS Bearer ID Идентификатор резервного логического соединения	Идентифицирует резервное логическое соединение, связанное с используемым	4 бита	В
TEID	Tunnel End Point Identifier Идентификатор конечной точки туннеля	Идентифицирует конечную точку в установленном GTP туннеле	32 бита	В

Использование идентификаторов в сети LTE представлено на рис. 4.8.

▲ PLMN ID (MCC+MNC)

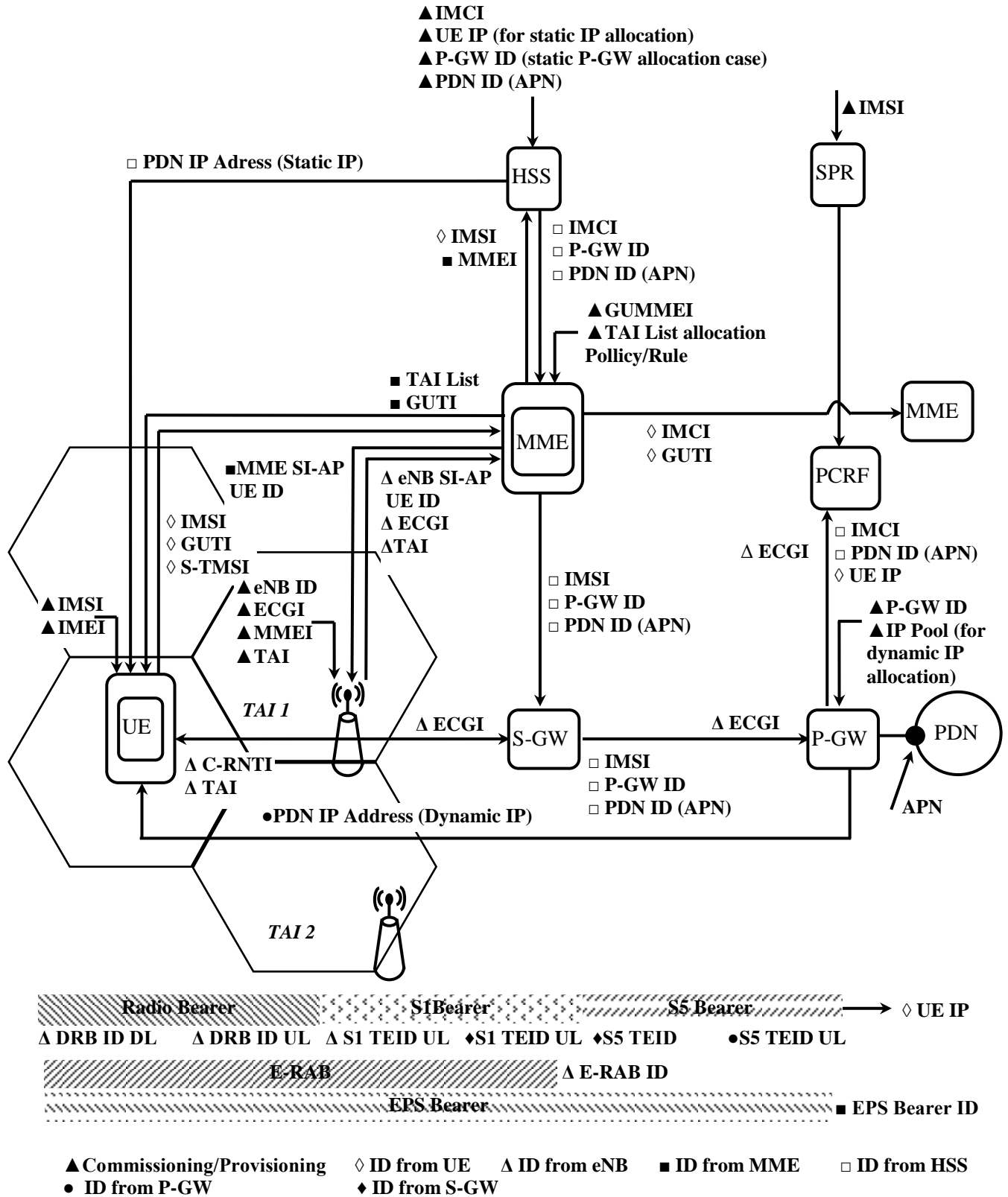


Рис. 4.8

4.3. Интерфейсы сети LTE

Под интерфейсами будем понимать совокупность правил взаимодействия компонент сети при обмене информацией в процессе реализации возложенных на них функций. В общем виде правила обмена информацией регламентируются семиуровневой моделью взаимодействия открытых систем (OSI). Основным понятием модели OSI является протокол как правило взаимодействия одноименных уровней двух открытых систем.

4.3.1. Интерфейс U_U

Основным отличием стандарта LTE от предыдущих стандартов, включая различные релизы 3GPP, является реализация физического уровня интерфейса U_U . Как было отмечено ранее, физический уровень базируется на технологии OFDM (SC-FDMA) с модуляцией 4QAM, 16-QAM и 64-QAM. Уточним только некоторые моменты. Стандартом LTE предусмотрено использование максимально 2048 поднесущих в рабочей полосе частот с расстоянием между поднесущими $\Delta f = 15$ кГц. Такие значения выбраны исходя из возможностей элементной базы на момент принятия решения и в связи с необходимостью взаимной синхронизации E-UTRAN LTE и UTRAN UMTS. Длительность тракта $T_S = 1/(2048 \times \Delta f) = 0,03255$ мкс, что соответствует тактовой частоте 30,72 МГц. Это в 8 раз выше тактовой частоты UTRAN.

Таким образом, величина $\Delta f = 15$ кГц определила и длину информационного поля OFDM символа как $1/\Delta f \approx 66,7$ мкс, при этом длина циклического префикса зависит от радиуса соты (рис. 4.9)



Нормальный CP = 4,7 мкс для сот радиусом до 1,4 км
Расширенный CP = 16,7 мкс для сот радиусом до 120 км

Рис. 4.9

Обмен информацией между UE и eNB как в нисходящем, так и в восходящем направлениях осуществляется в виде радиокадров (radioframe) длительностью 10 мс. Структура радиокадра представлена на рис. 4.10.

Формат кадра зависит от способа организации дуплексного обмена информацией. В LTE используются два способа организации дуплексности FDD (Frequency Division Duplex) TDD (Time Division Duplex).

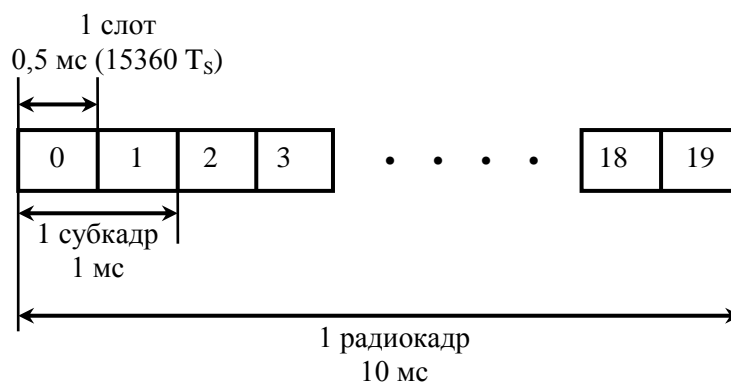


Рис. 4.10

FDD предусматривает использование двух разнесенных спектров частот: один для организации нисходящих каналов, другой – для восходящих. В этом случае формат радиокадра будет соответствовать рис. 4.10.

При TDD используется один спектр частот, и разделение нисходящих и восходящих направлений передачи осуществляется во времени в пределах радиокадра. Необходимость перехода от одного направления передачи к другому требует определения «точки переключения», для чего используется пилотное поле. В этом поле выделяют специальные пилотные слоты: DwPTS (Downlink Pilot Time Slot) – пилотный слот нисходящего направления и UpPTS (Uplink Pilot Slot) – пилотный слот восходящего направления. DwPTS и UpPTS располагаются последовательно вместе с защитным полем GP (Guard Period). Формат радиокадра при TDD представлен на рис. 4.11.

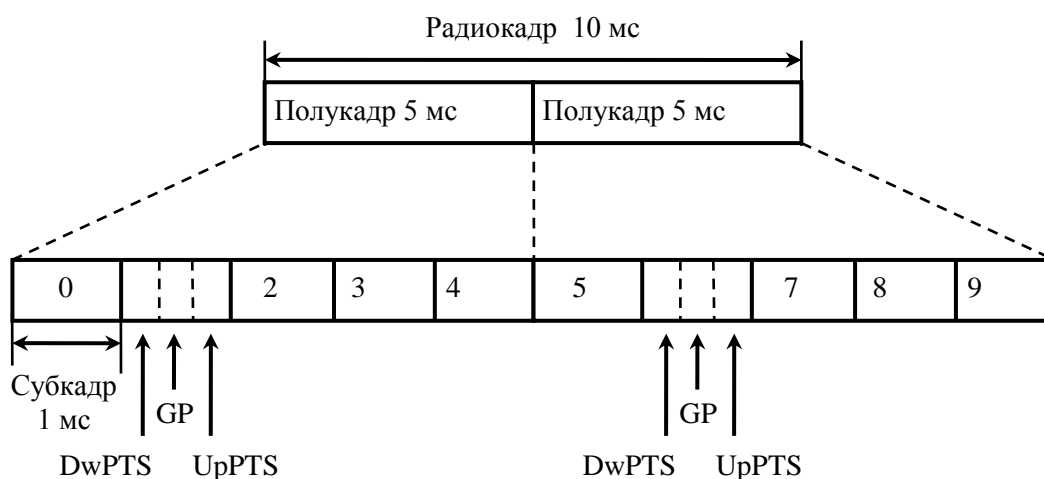


Рис. 4.11

Для осуществления обмена радиокадрами UE должна знать, с кем общаться, т. е. идентифицировать соту (eNB) и уметь выделить каждый радиокадр из общего потока. Следовательно, UE должна быть синхронизирована с eNB. Для осуществления синхронизации в нисходящем канале

eNB передает два синхросигнала PSS (Primary Synchronization Signal) и SSS (Secondary Synchronization Signal). Синхросигналы генерируются на базе идентификатора соты (eNB). В LTE 504 идентификатора сот (Cell ID), которые разделены на 168 групп (N_2 – номер группы сот) по три в каждой группе (N_1 – номер соты в группе). PSS генерируется на основе N_2 , а SSS на основе N_1 . Синхросигналы размещают в одном OFDM символе и для них резервируются 72 поднесущие. При FDD синхросигналы размещают в 0 и 5 субкадрах, как это показано на рис. 4.12. В случае TDD – в субкадрах 1 и 6. Таким образом, приняв PSS и SSS, UE идентифицировала соту, в которой она находится и может распознавать радиокадры и их формат в процессе обмена информацией.

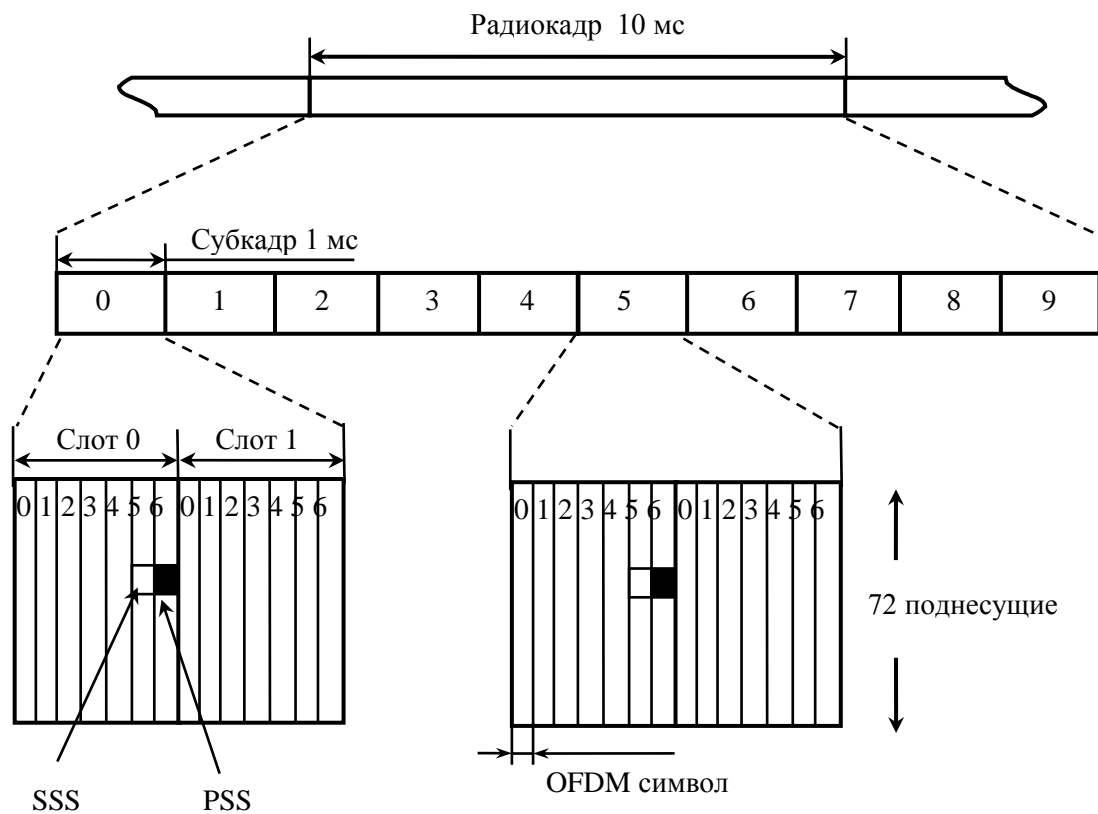


Рис. 4.12

Весь каналный ресурс стандарта LTE разделяется на ресурсные блоки. Соответственно, это минимальный элемент, которым оперирует eNB при выделении каналного ресурса. Ресурсный блок занимает 12 расположенных подряд поднесущих и один слот, в котором, в зависимости от длины CP, располагаются 6 или 7 OFDM символов, как это показано на рис. 4.13.

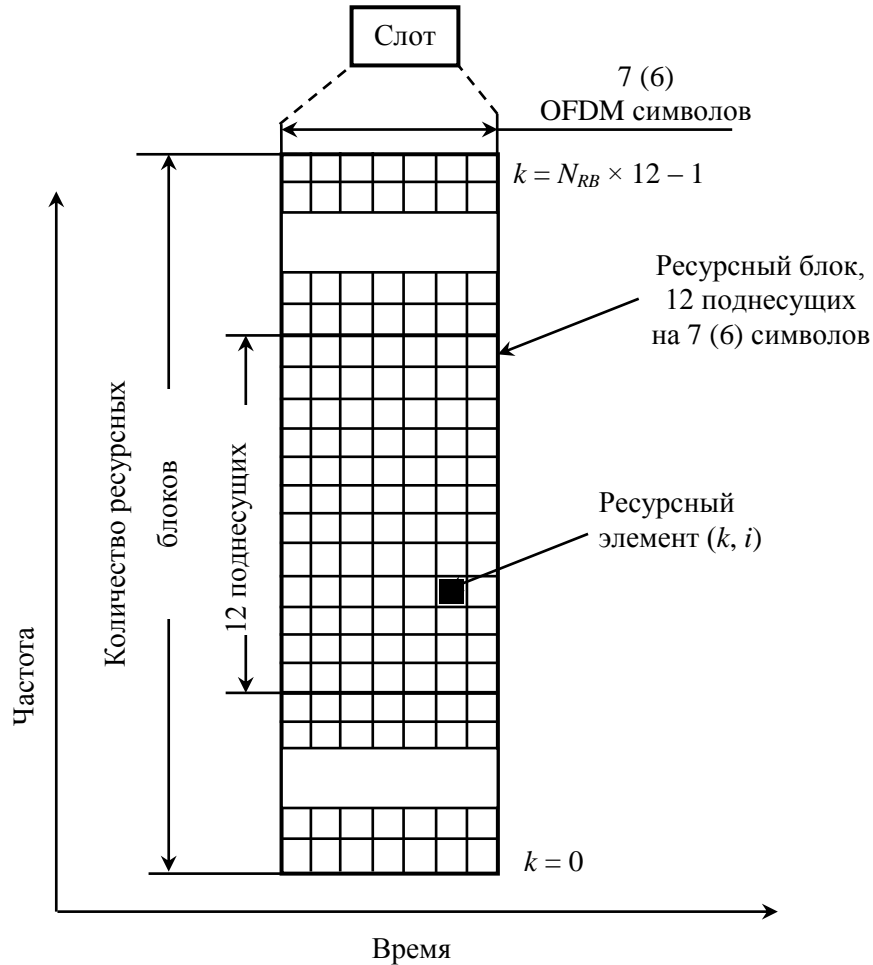


Рис. 4.13

Таким образом, один ресурсный блок максимально может содержать $12 \times 7 = 84$ OFDM символа (ресурсных элемента). Зная способ модуляции, можно определить, какую скорость передачи информации он может обеспечить. Реальная скорость передачи информации в нисходящем направлении (от eNB к UE) будет ниже из-за передачи опорных символов и управляющих каналов. Опорные символы необходимы для оценки условий передачи для каждой из антенн в случае использования MIMO. Место расположения опорных символов в ресурсном блоке четко определено (рис. 4.14). Кроме того, четко определена и форма опорного символа.

В E-UTRA LTE специфицированы шесть полос частот, что и определяет номенклатуру приемо-передающей радиоаппаратуры (табл. 4.2).

3GPP в спецификации TS 36.101V10.0.0 определило диапазон частот для организации радиоканалов при FDD (табл. 4.3) и при TDD (табл. 4.4).

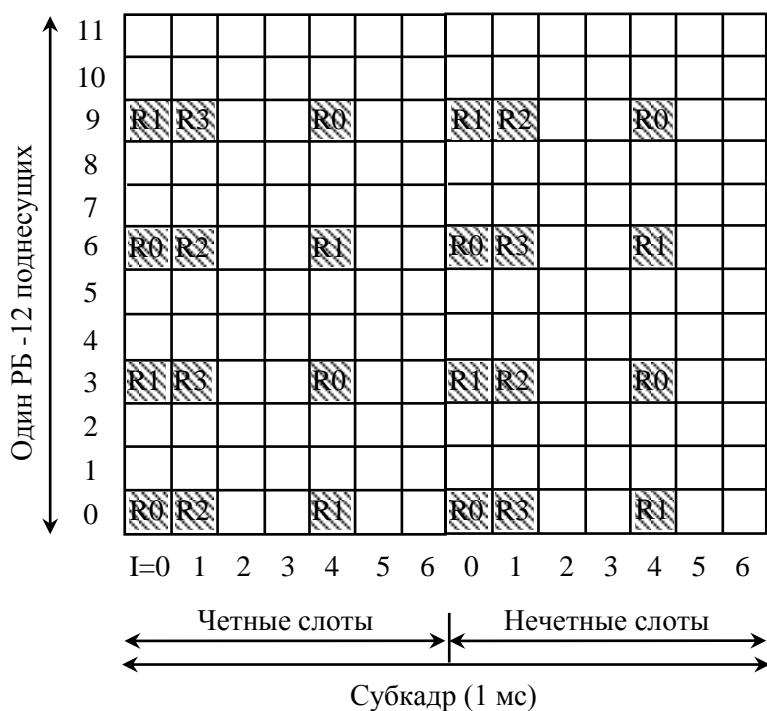


Рис. 4.14

Таблица 4.2

Полоса частот (МГц)	1,4	3	5	10	15	20
Количество поднесущих	72	180	300	600	900	1200
Число ресурсных блоков	6	15	25	50	75	100

Таблица 4.3

Номер диапазона	Частоты передачи вверх UE → eNB (МГц)	Частоты передачи вниз eNB → UE (МГц)	Разнос частот между каналами вверх и вниз (МГц)
	$F_{\text{мин}} - F_{\text{макс}}$	$F_{\text{мин}} - F_{\text{макс}}$	
1	1920–1980	2110–2170	190
2	1850–1910	1930–1990	80
3	1710–1785	1805–1880	95
4	1710–1755	2110–2155	400
5	824–849	869–894	45
7	2500–2570	2620–2690	120
8	880–915	925–960	45
9	1749,9–1784,9	1844,9–1879,9	95
10	1710–1770	2110–2170	400
11	1427,9–1452,9	1475,9–1500,9	48
12	698–716	728–746	30
13	777–787	746–756	-31
14	788–798	758–768	-30

Номер диапазона	Частоты передачи вверх UE → eNB (МГц)	Частоты передачи вниз eNB → UE (МГц)	Разнос частот между каналами вверх и вниз (МГц)
17	704–726	734–746	30
18	815–830	860–875	45
19	830–845	875–890	45
20	832–862	791–821	–41
21	1447,9–1462,9	1495,9–1510,9	48
23	2000–2020	2180–2200	180
24	1626,5–1660,5	1525–1559	–101,5
25	1850–1915	1930–1995	80

Таблица 4.4

Номер диапазона	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Частоты передачи (МГц)	1900–1920	2010–2025	1850–1910	1930–1990	1910–1930	2570–2620	1880–1920	2300–2400	2496–2690	3400–3600	3600–3800

Теперь можно подойти к рассмотрению того, как используется ресурс.

Типы каналов и их организация

Как отмечалось ранее, в процессе реализации услуг и различных процедур, связанных с обеспечением персональной мобильности и безопасности, возникает необходимость передачи информации как в дуплексном, так и в симплексном режиме различных направлений передачи. При этом в различной конфигурации (точка-точка, точка-многоточие) и с различной скоростью. Учитывая это, во всех стандартах на радиоучастке используется определенный набор логических каналов, что позволяет экономить дефицитный радиоресурс. В LTE при создании канальной структуры на U_i интерфейсе 3GPP использовало накопленный опыт, полученный при создании и развитии стандарта UMTS. Как и в UMTS, в сетях LTE канальная структура содержит три уровня: логические, транспортные и физические каналы.

Логические каналы

BCCH (Broadcast Control Channel) – симплексный контрольный канал управления в нисходящем направлении передачи, по которому от eNB постоянно передается основная системная информация всем UE в соте, начиная с полосы рабочих частот.

PCCH (Paging Control Channel) – симплексный канал управления в нисходящем направлении для передачи сообщений поиска UE, местоположение которых не определено с точностью до соты. Сообщения поиска передаются всеми eNB зоны слежения (местонахождения).

CCCH (Common Control Channel) – канал управления для передачи сообщений при обмене NAS (Non Access Stratum) информацией между UE и eNB.

DTCH (Dedicated Traffic Channel) – индивидуальный дуплексный канал для передачи пользовательской информации, который выделяется на время реализации услуги.

CCH (Dedicated Control Channel) – индивидуальный дуплексный канал управления для передачи управляющей информации в процессе реализации процедур, включая процедуры доступа к услугам.

MCCH (Multicast Control Channel) – симплексный канал управления в нисходящем направлении для передачи служебной информации группе UE при организации мультимедийного вещания (MBMS – Multimedia Broadcast Multicast Services).

MTCH (Multicast Traffic Channel) – канал в нисходящем направлении для передачи пользовательской информации группе UE (услуга MBMS).

Транспортные каналы

Транспортные каналы отличаются друг от друга форматом представления информации и характеристиками ее передачи по физическим каналам.

BCCH (Broadcast Channel) – данный канал имеет фиксированный формат и используется для передачи информации логического канала BCCH.

PCCH (Paging Channel) – предназначен для передачи информации логического канала PCCH. Он поддерживает режим приема с прерыванием DRX – Discontinuous Reception, когда UE находится в состоянии LTE_IDLE.

DL-SCH (Downlink Shared Channel) – канал с разделением пользователей (UE), при передаче информации в нисходящем направлении. Он поддерживает адаптацию скорости передачи, планирование во временной и частотной области, модифицированный запрос на повторную передачу HARQ – Hybrid Automatic Repeat Request, а также режим DRX.

UL-SCH (Uplink Shared Channel) – канал с разделением пользователей (UE) при передаче информации в восходящем направлении. По своим характеристикам аналогичен каналу DL-SCH.

MCCH (Multicast Channel) – данный канал обеспечивает поддержку услуги MBMS и имеет полустатический формат и полустатическое выделение ресурса.

RACH (Random Access Channel) – данный канал служит для передачи информации в восходящем направлении при запросах на подключение к сети, при подключении к целевой eNB в процессе переключения вызова (Handover), при восстановлении синхронизации.

Физические каналы

PDSCH – (Physical Downlink Shared Channel) – канал нисходящего направления передачи с разделением пользователей (UE). Этот канал используется для передачи транспортных блоков транспортных каналов DL-SCH и PCH (возможна модуляция QPSK, 16-QAM и 64-QAM).

PDCCH – (Physical Downlink Control Channel) – канал управления нисходящего направления передачи с разделением пользователей (UE). Используется для передачи информации о выделении канального ресурса для транспортных каналов PCH, DL-SCH, UL-SCH. Кроме того, по нему eNB передает ответ на запросы UE доступа к сети, команды управления мощностью (модуляция QPSK).

PHICH (Physical Hybrid ARQ Indicator Channel) – канал управления нисходящего направления с разделением пользователей (UE), используется для передачи информации HARQ (ACK/NACK) в ответ на переданное сообщение в восходящем направлении (модуляция QPSK).

PBCH (Physical Broadcast Channel) – канал управления нисходящего направления передачи информации в вещательном режиме (т. е. конфигурация точка-многоточие). Используется для передачи транспортных блоков транспортного канала BCH (модуляция QPSK).

PMCH (Physical Multicast Channel) – канал передачи информации мультимедийного вещания при реализации услуги MBMS (возможна модуляция QPSK, 16-QAM и 64-QAM).

PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel) – канал восходящего направления передачи, для доставки сообщения о формате информации, передаваемой по каналу PDCCH (модуляция QPSK).

PRACH (Physical Random Access Channel) – канал нисходящего направления для передачи запросов UE на доступ к сети.

PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) – канал восходящего направления передачи с разделением пользователей (UE) для передачи пользовательской информации и информации управления UCI (Uplink Control Information).

PUCCH (Physical Uplink Control Channel) – канал управления восходящего направления с разделением пользователей (UE) для передачи UCI в случае отсутствия канала PUSCH.

Взаимосвязь каналов нисходящего направления передачи представлена на рис. 4.15, а восходящего – на рис. 4.16.

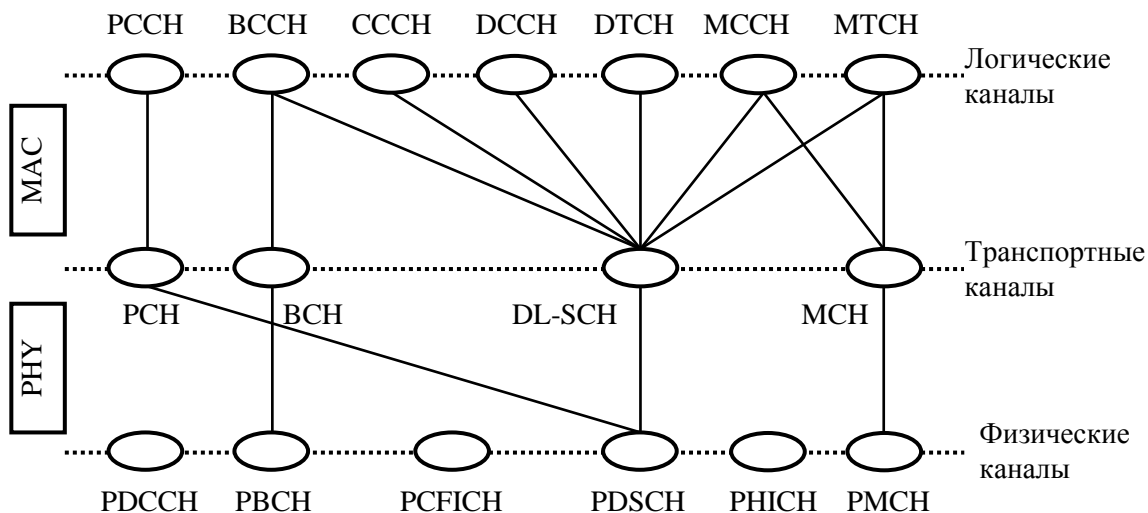


Рис. 4.15

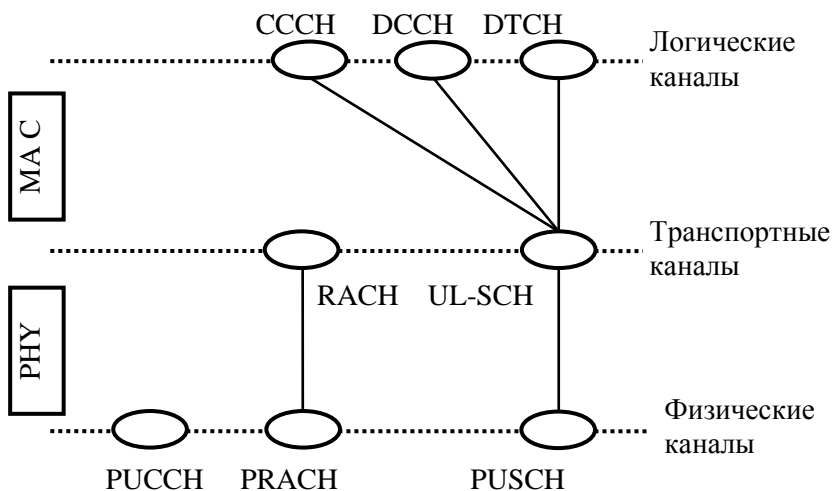


Рис. 4.16

Рассмотрим организацию физических каналов управления в нисходящем направлении передачи. Размещение физических каналов в субкадре 0 радиокадра представлено на рис. 4.17.

Как отмечалось ранее, в субкадре 0 шести ресурсных блоках (РБ) передаются синхросигналы PSS и SSS (рис. 4.12). Физический канал PBCH также размещается в 6 РБ, занимая первые 4 OFDM символа слота 1 субкадра 0. Каналы PCFICH, PHICH, PDCCH размещаются в начале каждого субкадра. Это позволяет в реальном времени в зависимости от качества передачи выделять каналный ресурс.

Канал PCFICH используется для доставки CFI (Control Format Indicator) информации, т. е. числа OFDM символов (от 1 до 4) в субкадре, выделяемых для канала PDCCH.

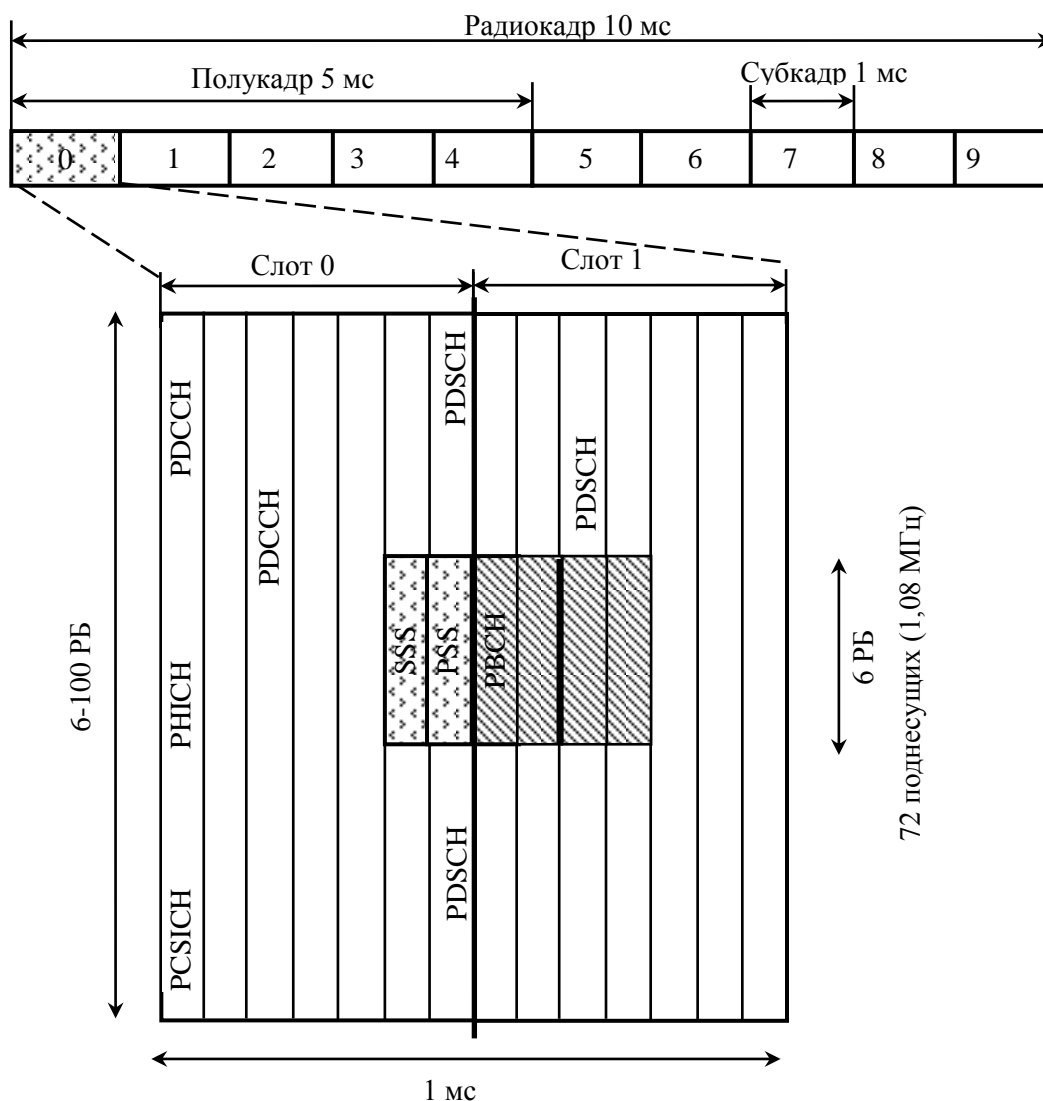


Рис. 4.17

Типовой вариант размещения каналов управления в субкадре представлен на рис. 4.18.

Следует отметить, что размещение каналов управления и каналов передачи пользовательской информации в одном OFDM символе не допускается.

В восходящем направлении передачи создаются физические каналы PRACH, PUSCH и PUCCH. Кроме того, для получения информации о затухании на различных частотах рабочей полосы частот, предусматривается возможность передачи опорного тонального сигнала SRS (Sounding Reference Signal) в восходящем направлении. Для его размещения используется всегда последний SC-FDMA символ субкадра.

Канал PUCCH (или PUSCH) используется для передачи управляющей информации в восходящем направлении, например такой, как подтверждение приема пакетов нисходящего направления (ACK/NACK), индикатор

качества канала CQI (Channel Quality Indicator), запрос на выделение канального ресурса SRI (Scheduling Request Indicator) и т. д. Информация CQI и SRI позволяет eNB в динамическом режиме назначать канальный ресурс. CQI представляет собой индекс градации качества канала. Всего используется 15 индексов (от 1 до 15), как это показано в табл. 4.5.

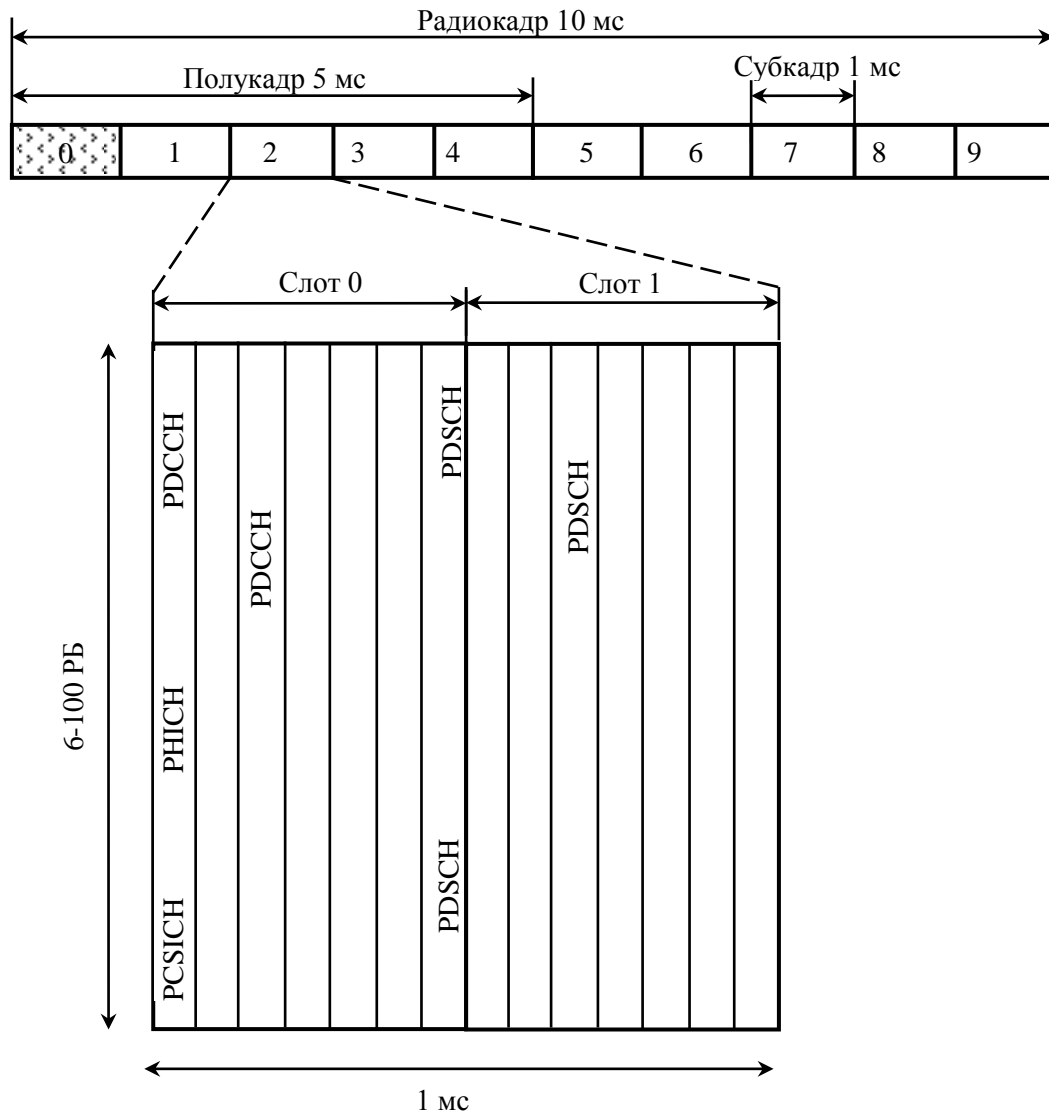


Рис. 4.18

Информацию о выделенном канальном ресурсе для размещения каналов PUSCH или PUSCH UE получают в предыдущем субкадре в канале PDCCH нисходящего направления.

Для размещения физического канала PUSCH используют один ресурсный блок (РБ). При этом выбирают РБ по краям рабочей полосы частот. Особенностью организации каналов PUSCH или PUSCH является возможность работы со скачками частоты, что позволяет повысить качество приема за счет частотного разнесения передаваемого сигнала. На рис. 4.19 приведен пример размещения четырех каналов PUSCH в субкадре.

Таблица 4.5

CQI index	Modulation	Code rate $\times 1024$	Efficiency
0	Out of range		
1	QPSK	78	0,1523
2	QPSK	120	0,2344
3	QPSK	193	0,3770
4	QPSK	308	0,6016
5	QPSK	449	0,8770
6	QPSK	602	1,1758
7	16-QAM	378	1,4766
8	16-QAM	490	1,9141
9	16-QAM	616	2,4063
10	64-QAM	466	2,7305
11	64-QAM	567	3,3223
12	64-QAM	666	3,9023
13	64-QAM	772	4,5234
14	64-QAM	873	5,1152
15	64-QAM	948	5,5547

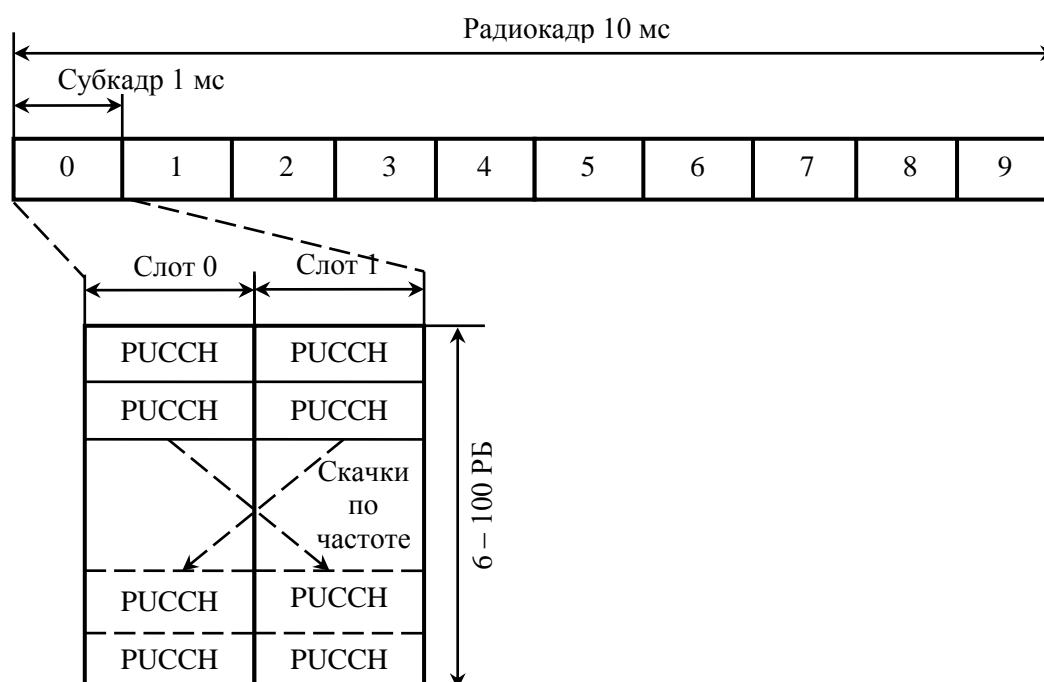


Рис. 4.19

Если UE предоставлен канал PUSCH, то канал PDCCH не выделяется. В этом случае как пользовательская информация, так и информация управления мультиплексируется в канал PUSCH.

Физический канал случайного доступа PRACH занимает 6 РБ. Информация о выделенном канальном ресурсе для размещения каналов PRACH передается всем UE соты по каналу PBCH. Сообщения, передаваемые по ка-

налу PRACH, всегда представляют преамбулу с циклическим префиксом CP. Преамбула представляет собой zc-последовательность. В спецификациях 3GPP определены 5 форматов преамбул в зависимости от радиуса сот. Так, на рис. 4.20 изображена преамбула 0-го формата.

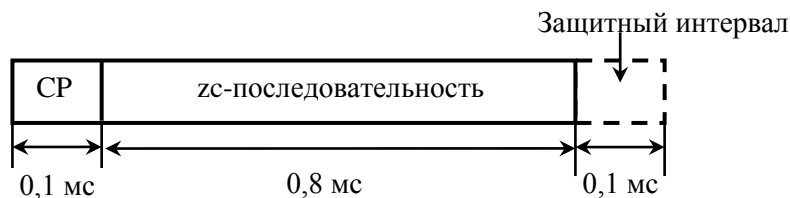


Рис. 4.20

Для каждой соты возможно формирование 64 различных zc-последовательностей, которые распределяются между UE соты (рис. 4.21).

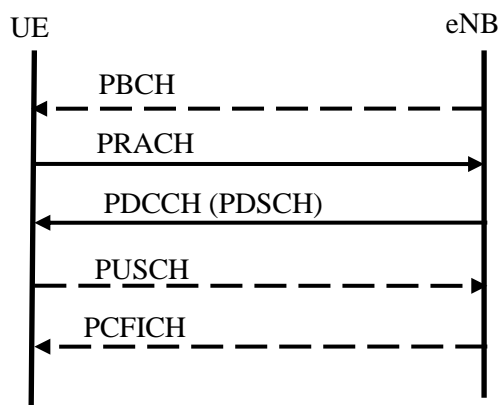


Рис. 4.21

По каналу PBCH UE постоянно получает системную информацию, в которой содержатся сведения о выделенном канальном ресурсе для канала PRACH. UE выбирает один из вариантов zc-последовательности преамбулы и передает ее по каналу PRACH. eNB, детектируя преамбулу, обнаруживает поступление запроса доступа. В ответ eNB формирует сообщение RAR (Random Access Response), адресуясь к UE по номеру zc-последовательности. Сообщение RAR содержит: C-RNTI – выделенный временный индикатор для данного UE, UL Grant – информация о выделенном канальном ресурсе (PUSCH) и время упреждения. Сформированное сообщение RAR eNB передает UE по каналу PDCCH. Далее, UE ведет передачу информации, используя канал PUSCH.

Можно считать, что мы определили канальную структуру и назначение каждого из каналов как нисходящего, так и восходящего направлений передачи. Теперь можем перейти к правилам (протоколам) обмена информацией между UE и eNB на U_U интерфейсе.

Стек протоколов радиоучастка (U_U интерфейса) представлен на рис. 4.22.

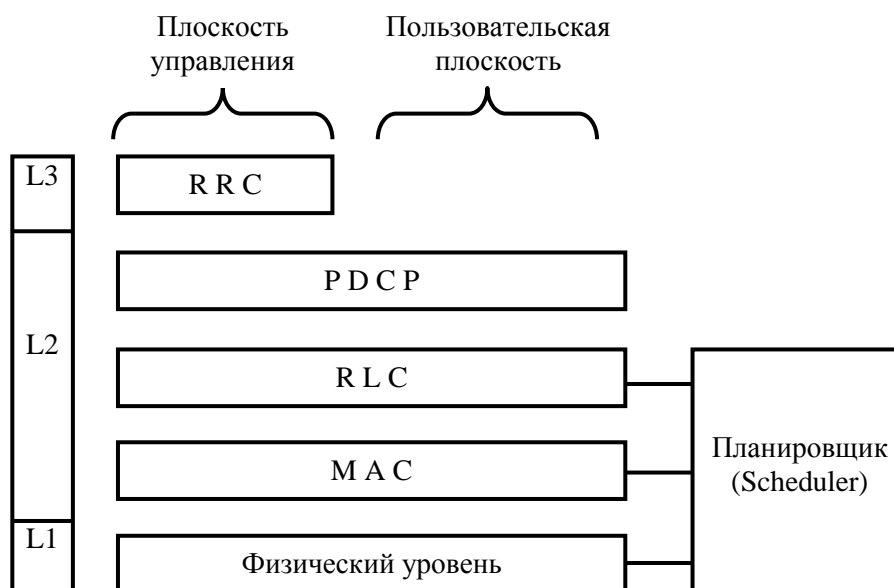


Рис. 4.22

RRC – Radio Resource Control (TS 36.331). Данный протокол относится только к плоскости управления и на него возлагаются следующие функции.

Передача NAS (Non Access Stratum) информации. Обмен NAS информацией осуществляется между UE и MME. Эта информация может относиться как к отдельно взятому UE, так и ко всем UE.

Передача системной информации. Системная информация представляет собой информационные блоки, например те, которые представлены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Сообщение	Содержимое	Период, мс
MIB	Наиболее важные параметры	40
SIB1	Параметры для выбора соты	80
1-е S1	SIB2: конфигурация общих и разделяемых каналов	160
2-е S1	SIB3: общая информация для выбора соты SIB4: информация о соседних сотах	320
3-е S1	SIB5: информация для перебора сот (в другом частотном диапазоне)	640
4-е S1	SIB6: информация для перевыбора UTRAN соты SIB7: информация для перевыбора GERAN соты	640

Для передачи системной информации используются три типа блоков: MIB (Master Information Block), SIB (System Information Block) и SI (System Information).

Управление RRC соединением (RRC connection control). Под управлением RRC соединением будем понимать создание, изменение и удаление RRC соединения при реализации следующих задач:

- пейджинг;
- переключение вызова (Handover);
- обеспечение безопасности, включая управление ключами;
- управление сигнальными соединениями SRB (Signaling Radio Bearer);
- управление частью сквозного соединения для передачи пользовательской информации DRB (Data Radio Bearer).

Селекция сот при перемещении UE.

Настройка измерений и отчетность для обеспечения мобильности UE.

PDCP – Packet Data Convergence Protocol (TS 36.323). Протокол PDCP предназначен для обработки RRC сообщений в плоскости управления и IP-пакетов в пользовательской плоскости. Рассмотрим, какие функции выполняются этим протоколом.

Сжатие и восстановление заголовков. Для сжатия заголовков используется протокол ROHC (Robust Header Compression), предложенный IETF (Internet Engineering Task Force).

В документе IETF RFC 4995 определено множество профайлов (правил и параметров) для сжатия заголовков. UE может поддерживать один или несколько ROHC профайлов. Выбор профайла из поддерживаемых UE осуществляет eNB.

Закрытие (шифрация) информации. На уровне PDCP осуществляется закрытие как пользовательской информации, так и информации управления. Порядок закрытия информации будет рассмотрен позже в другом разделе.

Обеспечение целостности информации управления.

Поддержка Handover. Под поддержкой в данном случае понимают восстановление порядка следования передаваемых пакетов и управление в случае необходимости повторной их передачи. Для этого на уровне PDCP вводится нумерация пакетов SN (Sequence Number).

Сброс пакетов. Сброс пакетов осуществляется, если превышено допустимое время их пребывания в буфере eNB либо UE.

RLC – Radio Link Control (TS36.322). В LTE используются три режима функционирования протокола RLC: *прозрачный* (Transparent Mode), при котором с пакетами данных на уровне RLC не совершается никаких действий, даже не добавляются заголовки. Он используется, например, при передаче системной информации, сообщений пейджинга и т. д.; *без подтверждений* (Unacknowledged Mode). Данный режим используется для передачи информации реального времени – чувствительной к задержкам, но лояльной к ошибкам, например VoIP; *с подтверждениями* (Acknowledged Mode). Это режим с подтверждениями и повторными передачами неправильно

принятых пакетов. Поэтому он используется тогда, когда требуется обеспечить надежность передачи данных, которые лояльны к задержкам. Основными функциями, возлагаемыми на данный протокол, являются следующие.

Сегментация/конкатенация. В направлении передачи, поступающие от вышестоящего уровня SDU пакеты, сегментируются и преобразуются в PDU (Protocol Data Unit) пакеты. В направлении приема осуществляется сборка (конкатенация) PDU пакетов в требуемой последовательности и их передача вышестоящему уровню.

Повторная передача используется при режиме работы RLC с подтверждением (ACK/NACK) положительным/отрицательным. Передающая сторона будет хранить PDU пакет пока не придет положительное подтверждение. Для повторной передачи положительно не подтвержденных PDU пакетов используется механизм ARQ (Automatic Repeat Query).

MAC – Medium Access Control Protocol (TS36.321). На MAC уровне осуществляется мультиплексирование и размещение информации логических каналов в транспортные и, после формирования транспортных блоков, передача их на физический уровень. На протокол MAC возлагаются следующие задачи.

Выделение канального ресурса в зависимости от приоритета поступающей информации.

Выбор формата передачи с учетом использования определенных физических каналов.

Коррекция ошибок, которая реализуется двухуровневой системой повторной передачи HARQ (Hybrid Automatic Repeat Query), позволяющей более эффективно использовать канальный ресурс радиointерфейса. HARQ предусматривает передачу дополнительной информации, позволяющей исправить незначительные ошибки. Большинство ошибок обнаруживается и исправляется с помощью HARQ. Если ошибка не устранена, используется механизм ARQ уровня RLC.

Организация режима DRX работы UE, находящихся в состоянии LTE_IDLE.

Работой уровня MAC и его тесного взаимодействия с уровнем RLC и физическим уровнем руководит планировщик (Scheduler). На основании характеристик канала, например CQI, он определяет оптимальный формат передачи, модуляцию, скорость кодирования, необходимую избыточность для HRQ и т. д. Это, соответственно, определяет и размер PDU уровня RLC. Кроме того, он управляет распределением передаваемой информации по антеннам в случае использования технологии MIMO.

L1 Физический уровень. Основной задачей данного уровня является подготовка сообщений MAC уровня для их передачи по физическим каналам с учетом особенностей транспортировки информации по радиоканалам.

лам. Рассмотрим в качестве примера обобщенный процесс преобразования информации на физическом уровне в нисходящем направлении, который изображен на рис. 4.23.

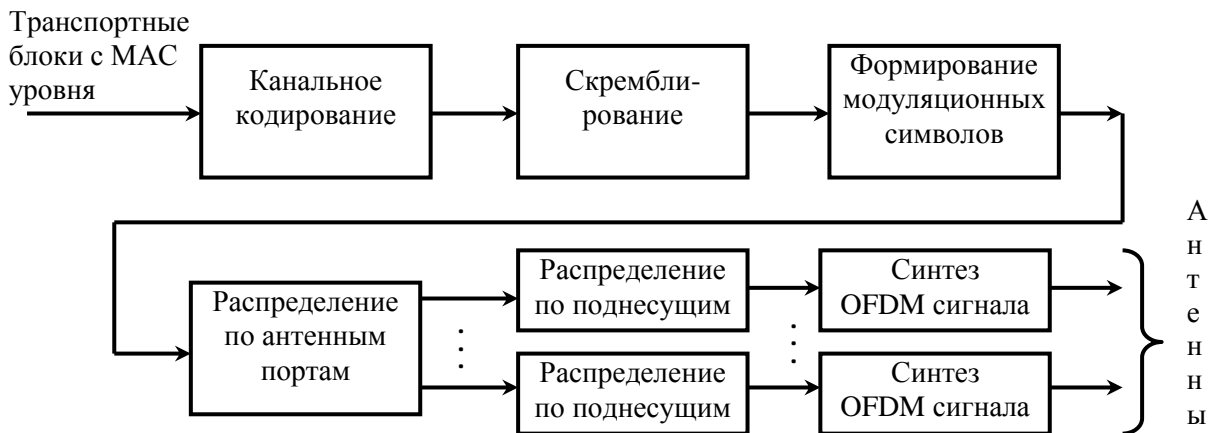


Рис. 4.23

Канальное кодирование включает в себя: работу с полиномом CRC24, преобразование с помощью сверточного, либо турбо-кода, перемежевание. Скремблирование предусматривает выполнение следующей процедуры: $d_{scr}(i) = x(i) + c(i)$, где $x(i)$ – поступающая последовательность, а $c(i)$ – скремблирующая последовательность. Дальнейшие шаги преобразования были рассмотрены ранее в материалах по технологии OFDM (разд. 4).

4.3.2. Интерфейс X2

Интерфейс X2 обеспечивает взаимодействие смежных eNB E-UTRAN. Стек протоколов на X2 интерфейсе как в пользовательской, так и в плоскости управления представлены на рис. 4.24.

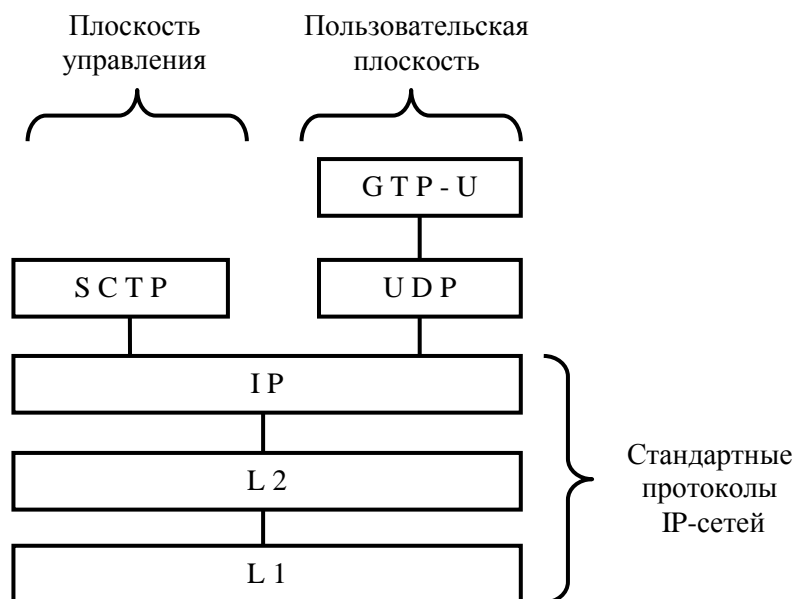


Рис. 4.24

SCTP – Stream Control Protocol. Это протокол передачи с управлением потоками, который специфицирован в документе RFC 2960. Данный протокол используется вместо протокола TCP, когда необходима устойчивая и надежная транспортировка информации управления.

GTP-U – GPRS Tunneling Protocol User Plane. Данный протокол позволяет применять туннелирование для доставки пакетов различных протоколов. Используется для транспортировки пользовательской информации, представленной протоколами IPv4, IPv6, либо PPP (Point-to-Point Protocol) форматов.

UDP – User Datagram Protocol. Это один из набора протоколов транспортного уровня наряду с TCP, SCTP. Однако он значительно проще и использует модель передачи без логических соединений, а также без обнаружения и исправления ошибок.

Следует отметить, что интерфейсы *S* имеют аналогичную протокольную структуру.

В заключение на рис. 4.25 представлен порядок обмена информацией между компонентами сети LTE в плоскости управления, а на рис. 4.26 – в пользовательской плоскости.

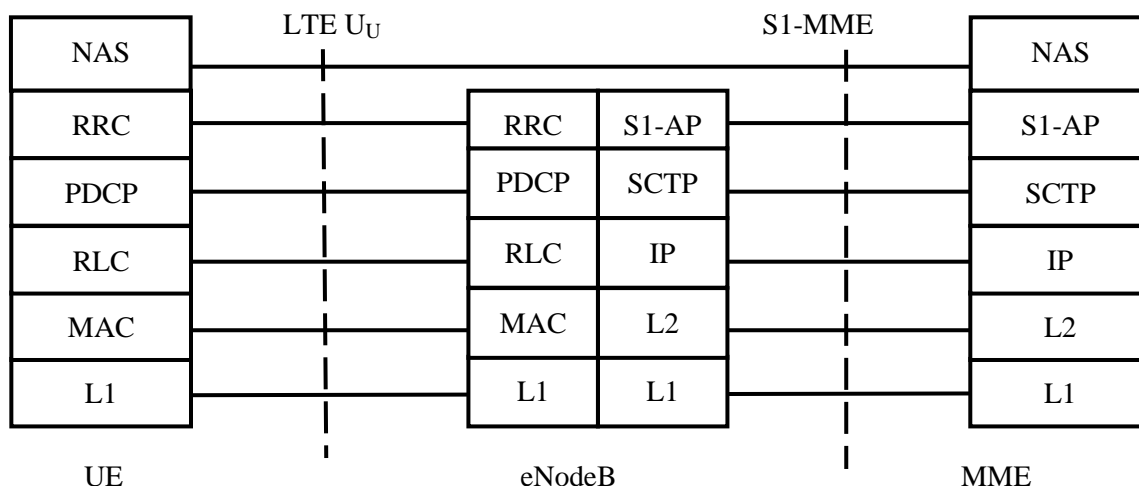


Рис. 4.25

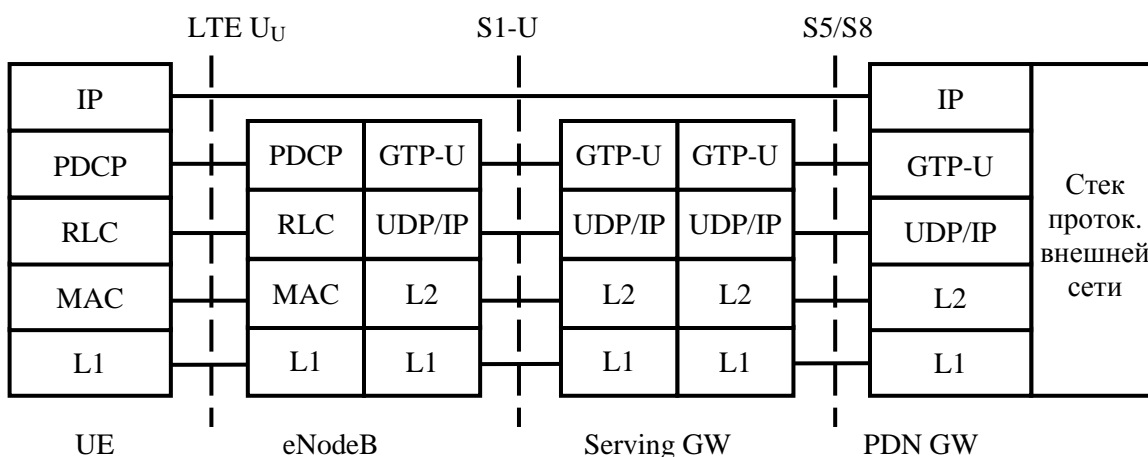


Рис. 4.26

4.4. Обеспечение безопасности в сети LTE

Как отмечалось ранее, под безопасностью будем понимать защиту от несанкционированного доступа к сети и обеспечение конфиденциальности при передаче как пользовательской, так и информации управления.

Защита от несанкционированного доступа реализуется с помощью процедуры аутентификации, которая инициируется MME при поступлении запросов на реализацию следующих процедур: подключение (Attach), обновления данных местонахождения (Location updating), реализации услуги (Service), восстановления соединения (Connection Reestablishment). Конфиденциальность обеспечивается за счет закрытия (шифрации) передаваемой информации.

В основе реализации безопасности лежит использование временных идентификаторов и различных ключей.

4.4.1. Взаимная аутентификация и соглашение о ключах (AKA – Authentication and Key Agreement)

Исходными данными для реализации процедуры АКА являются:

IMSI – Международный идентификатор UE (SIM карты);

K – Абонентский ключ;

SNID (Serving Network Identity) – идентификатор обслуживающей сети, равный PLMN ID данной сети;

Network Type – тип сети 0: GSM/UMTS, 1 – LTE.

IMSI и K хранятся как в HSS, так и на SIM карте UE.

Рассмотрим процесс реализации процедуры АКА, который представлен на рис. 4.27.

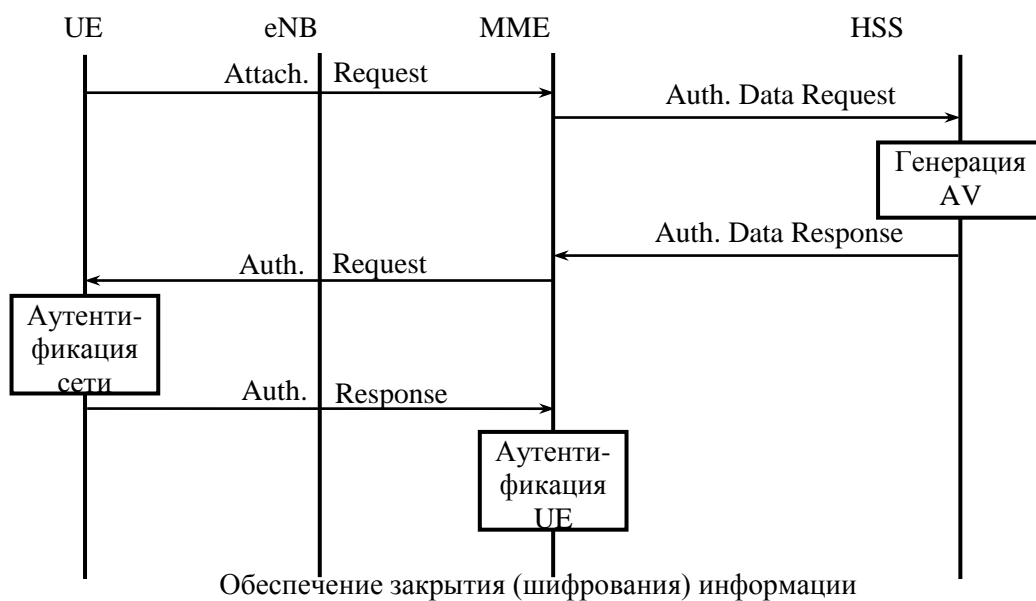


Рис. 4.27

Пусть от UE на MME поступил запрос, например Attach Request (на подключение). В этом случае UE идентифицирует себя с помощью IMSI. MME, получив запрос, обращается к HSS за информацией для аутентификации (Auth Data Request), передавая при этом IMSI, SNID, Network Type. HSS в первую очередь ищет K , соответствующий полученному IMSI. Далее, с помощью односторонних функций $f1 - f5$ приступает к формированию параметров вектора аутентификации AV, как это показано на рис. 4.28.

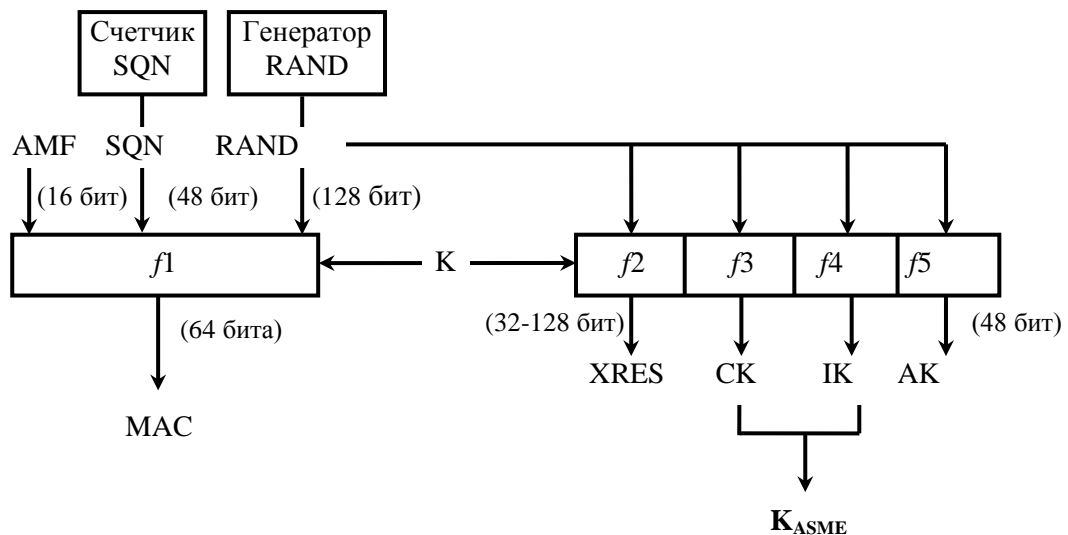


Рис. 4.28

AMF (Authentication Management Field) используется для указания типа сети.

SQN (Sequence Number) счетчик процедур АКА, предотвращающий повторное использование вектора аутентификации AV.

MAC (Message Authentication Code) используется UE при установлении подлинности обслуживающей сети.

XRES (Expected Response) используется MME при установлении подлинности UE.

CK (Ciphering Key) – ключ закрытия информации.

IK (Integrity Key) – ключ целостности информации.

AK (Anonymity Key) используется для шифрации SQN.

K_{ASME} (Key Access Management Entity) генерируется HSS с помощью алгоритма KDF (Key Derivation Function) на базе CK, IK, SNID, SQN + AK.

AUTN параметр аутентификации сети $AUTN = \{SQN + AK, AMF, MAC\}$.

Сформированная информация позволяет создать вектор аутентификации $AV = \{RAND, XRES, AUTN, K_{ASME}\}$.

В ответ на запрос MME информации аутентификации HSS передает MME вектор аутентификации AV (Auth Data Response). Получив вектор аутентификации AV для UE с номером IMSI, MME формирует сообщение Auth Request, содержащее RAND и AUTN, и передает его UE. Получив данное сообщение, UE приступает к формированию информации, необходимой для аутентификации, используя односторонние функции $f1 - f5$, такие же, как и у HSS (рис. 4.29).

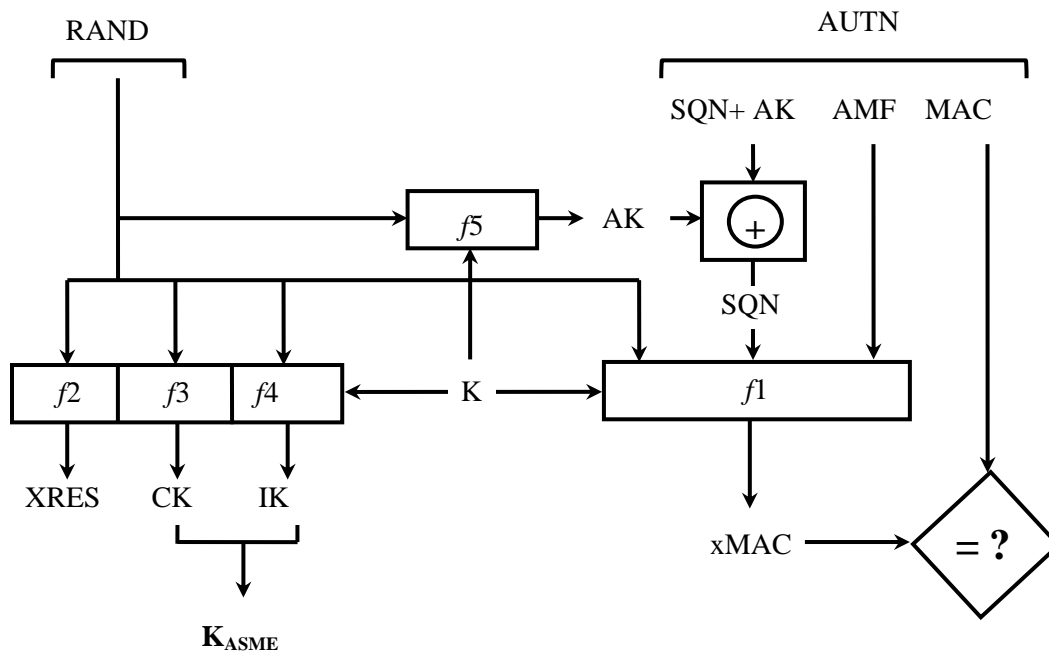


Рис. 4.29

На основании сформированной информации UE идентифицирует сеть, сравнивая xMAC с полученным MAC. Если $xMAC \neq MAC$, то сеть не аутентифицирована, и UE передает MME сообщение (Auth Failure) с указанием причины. При равенстве $xMAC = MAC$ сеть аутентифицирована успешно и UE отправляет MME сообщение (Auth Response), в котором содержится RES. Получив от UE сообщение, содержащее RES, MME приступает к аутентификации UE, сравнивая полученный RES с полученным ранее от HSS xRES. Если $xRES \neq RES$, MME направляет UE сообщение (Auth Reject), информируя его об отрицательном результате аутентификации. В случае, когда $xRES = RES$, процесс взаимной аутентификации завершился успешно.

Следует отметить, что обмен информацией между UE и MME осуществляется в соответствии с протоколом NAS.

4.4.2. Закрытие (шифрация) и обеспечение целостности информации

Шифрация и обеспечение целостности информации реализуется как в плоскости управления, так и в пользовательской плоскости (рис. 4.30).

После успешного завершения процедуры АКА ММЕ, eNB и UE приступают к генерации ключей, необходимых для шифрации и проверки целостности информации. Иерархия ключей представлена на рис. 4.31.

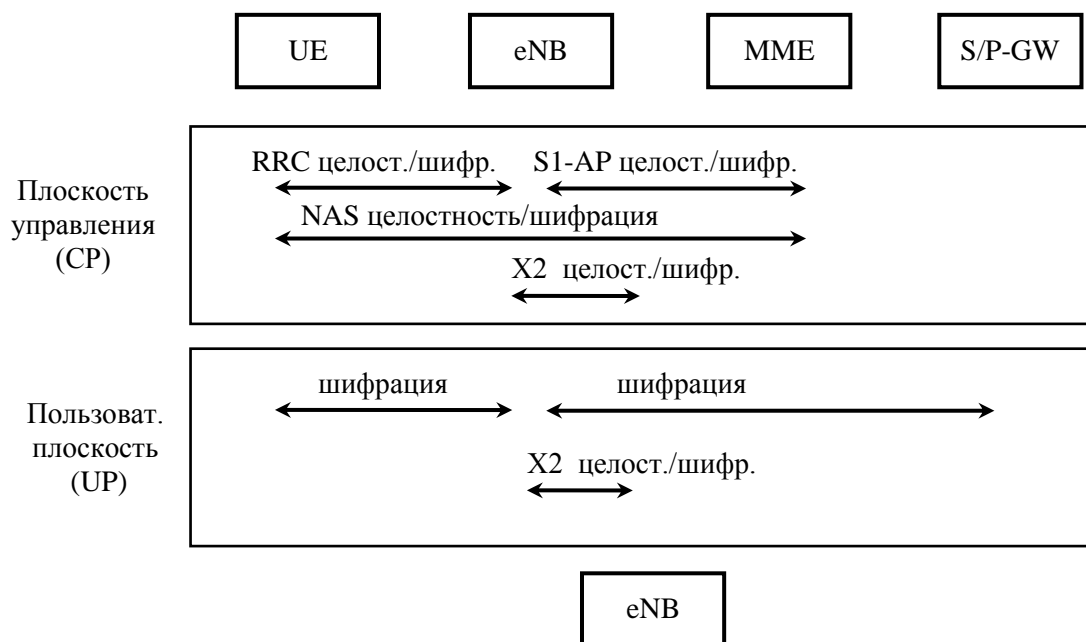


Рис. 4.30

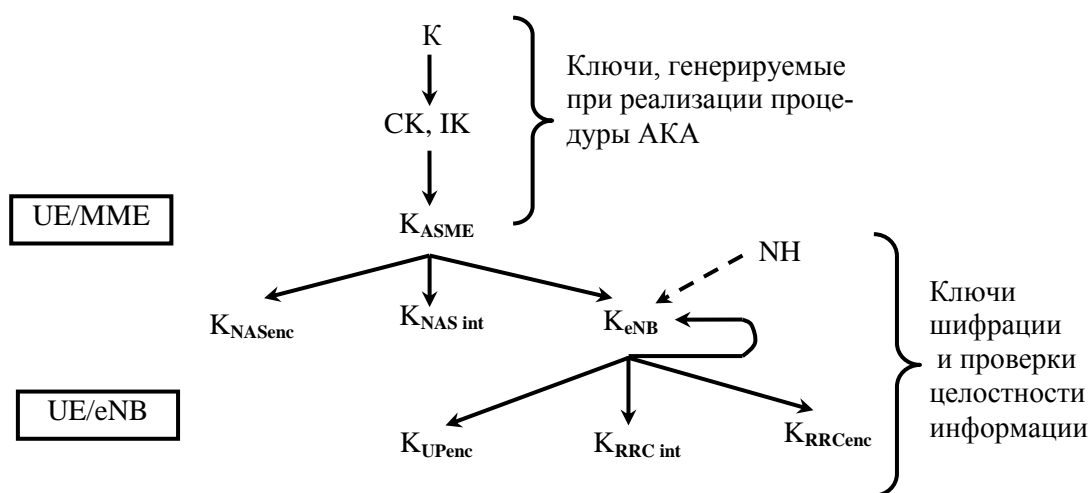


Рис. 4.31

Для генерации ключей шифрации и проверки целостности информации в соответствии со спецификациями 3GPP TS 33.401 v9.4.0 используются следующие алгоритмы:

- UEA2 (UMTS Encryption Algorithm);
- UIA2 (UMTS Integrity Algorithm);
- AES (Advanced Encryption Standard).

Генерация ключей для NAS информации осуществляется по схеме, представленной на рис. 4.32.

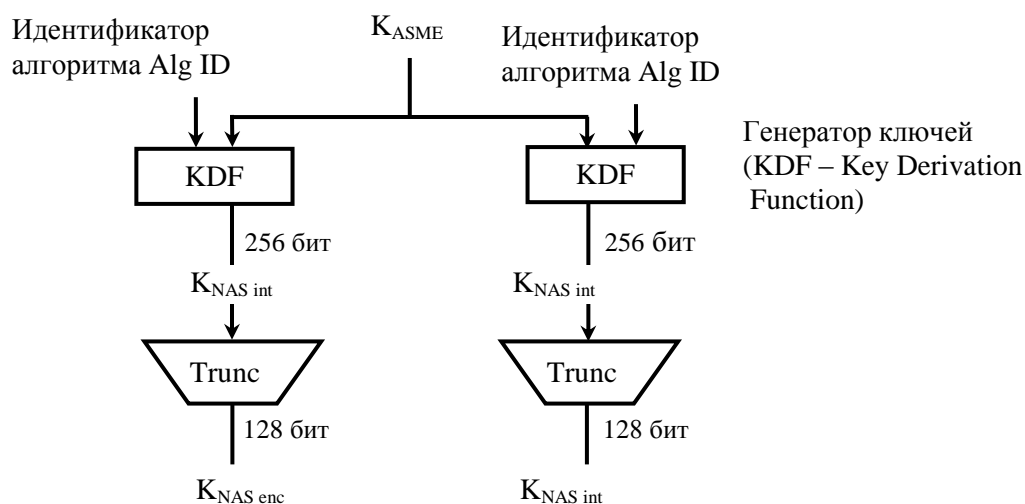


Рис. 4.32

KDF генерирует ключи длиной 256 бит. У каждого из сгенерированных KDF ключей с помощью функции Trunc усекают 128 старших бит и в результате получают рабочие ключи длиной 128 бит. Генерация NAS ключей выполняется в UE и MME параллельно. Однако UE начинает генерацию ключей по команде MME после того, как MME выбрал алгоритм. Команда MME (NAS Security Mode Command) содержит идентификатор алгоритма (Alg ID) и индикатор ключа K_{ASME} KSI (Key Set Identifier). О завершении генерации NAS ключей UE информирует MME, передавая сообщение NAS Security Mode Complete. С этого момента UE и MME будут обмениваться зашифрованной информацией с проверкой ее целостности.

Задачи шифрации и проверки целостности информации, передаваемой на участке eNB – UE, как было отмечено ранее, возлагаются на протокол RRC. В качестве исходного ключа используется K_{eNB} , генерируемый UE и MME с помощью KDF. Исходными данными для генерации K_{eNB} служат: K_{ASME} , счетчик NAS сообщений от UE к MME, прежнее значение K_{eNB} , идентификатор соты и номер восходящего канала. MME после генерации K_{eNB} передает его eNB.

Генерация ключей в UE и eNB осуществляется параллельно, но UE приступает к генерации ключей по команде eNB (AS Security Command). Команда содержит идентификатор алгоритма (Alg ID), выбранный eNB. Алгоритм генерации ключей в UE и eNB изображен на рис. 4.33. После завершения генерации ключей UE информирует об этом eNB, передавая сообщение AS Security Mode Complete.

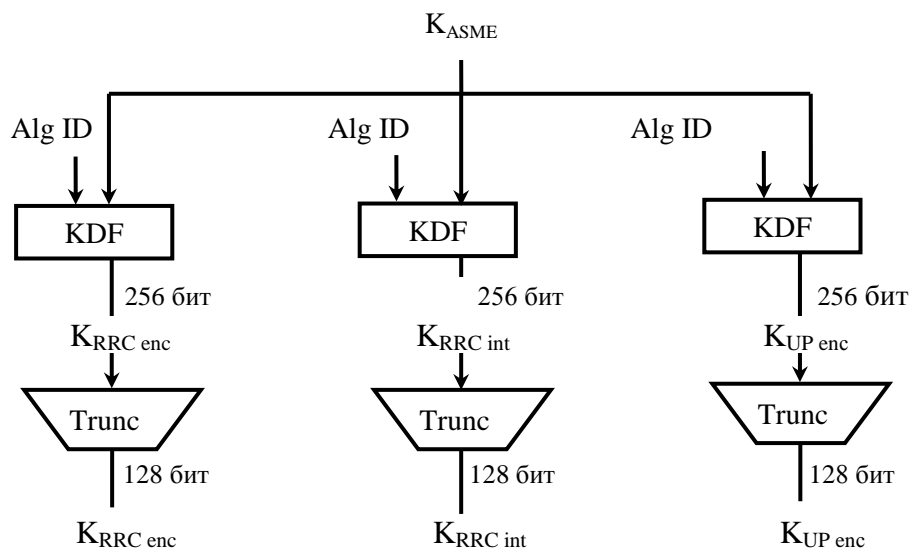


Рис. 4.33

Следует отметить, что новый K_{eNB} генерируется и при переключении вызова (Handover). В этом случае при генерации может быть использован дополнительный входной параметр NH (Next Hop). NH представляет собой счетчик числа eNB в цепочке в процессе реализации услуги.

Процесс шифрации/дешифрации с использованием алгоритма EEA (EPS Encryption Algorithm) показан на рис. 4.34.

Проверка целостности передаваемых сообщений базируется на вычислении MAC на передающей стороне и xMAC на приемной стороне. Вычисление MAC и xMAC производится с помощью одного и того же алгоритма EIA (EPC Electronic Industries Alliance) при одних и тех же исходных данных:

- ключ целостности информации,
- счетчик сообщений,
- идентификатор сквозного канала,
- указатель направления передачи,
- само сообщение.

При передаче сформированное значение MAC добавляется к передаваемому сообщению. На приемном конце после получения сообщения вычисляется xMAC. Вычисленное значение xMAC должно быть равно полученному значению MAC.

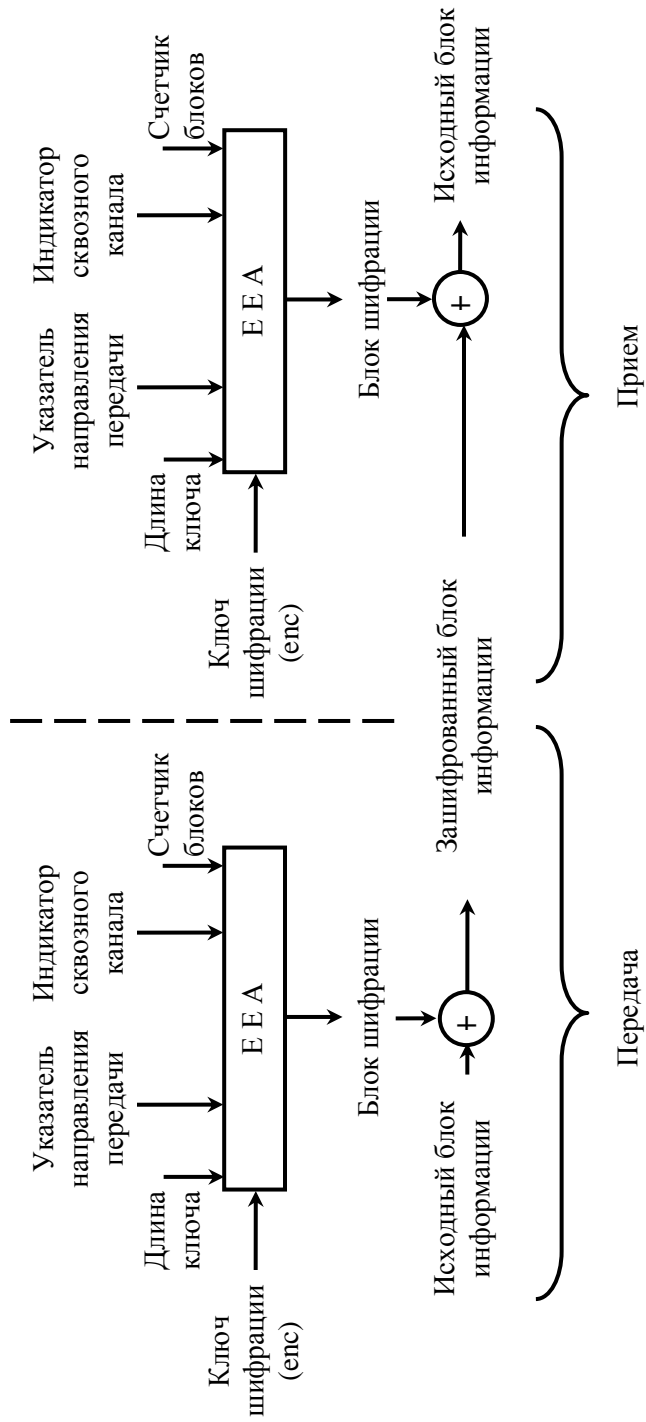


Рис. 4.34

Список сокращений

3GPP (3rd Generation Partnership Project) – партнерство по разработке стандартов мобильной связи.

AMPS (Advanced Mobile Phone System) – аналоговый стандарт сотовой связи, разработанный в США.

ARQ (Automatic Repeat Query) – автоматический перезапрос при коррекции ошибок.

AUC (Autentication Centre) – центр аутентификации и закрытия информации.

BSC (Base Station Controller) – контроллер базовых станций.

BSIC (Base Station Identity Code) – код идентификации базовой станции.

BSS (Base Station System) – система базовых станций.

BSSAP (Base Station System Application Part) – прикладная подсистема ОКС7, состоящая из BSSMAP и DTAP.

BSSGP (Base Station Subsystem GPRS Protocol GSM 08.18) – протокол взаимодействия BSS и SGSN.

BSSMAP (BSS Management Application Part) – прикладная подсистема ОКС7, взаимодействия MSC и BSC.

BTS (Base Transceiver Station) – приемо-передающая базовая станция.

CAP (CAMEL Application Part) – прикладная часть ОКС7 технологии CAMEL.

CEPT (Conference of European Postand Telecommunications) – Европейская администрация почты и телекоммуникаций.

CN (Core Network) – базовая сеть.

CQI (Channel Quality Indicator) – индикатор качества канала.

DRB (Data Radio Bearer) – транспорт данных на радиоучастке.

DRX (Discontinuous Recesptio) – режим приема с прерыванием.

DTAP (Direct Transfer Application Part) – подсистема сквозной передачи сообщений.

DwPTS (Downlink Pilot Time Slot) – пилотный слот нисходящего направления.

E1 – Стандартный цифровой поток с пропускной способностью 2048 кбит/с.

EIR (Equipment Identity Register) – регистр идентификации оборудования.

eNB (Enhanced NodeB) – базовая станция LTE.

EPC (Evolved Packet Core) – открытая пакетная сеть поддержки E-UTRAN.

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) – Европейский Институт по стандартизации в области телекоммуникаций.

E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) – сеть радиодоступа стандарта LTE.

FDD (Frequency Division Duplex) – способ организации дуплектности с разделением по частоте.

FFT (Fast Fourier Transform) – быстрое преобразование Фурье.

FISU (Fill-in Signal Unit) – заполняющая сигнальная единица в ОКС7.

FR (Frame Relay) – протокол сетей передачи данных с коммутацией пакетов.

GGSN (Gateway Support Node) – шлюзовый узел.

GMSC (Gateway MSC) – транзитный узел коммутации мобильной связи.

GP (Guard Period) – защитное поле.

GPRS (General Packet Radio Service) – технология пакетной передачи данных по радиоканалам в GSM.

GSM (Global System for Mobile Communications) – глобальная система мобильной связи второго поколения.

GTP (GPRS Tunneling Protocol GSM 09.60) – протокол туннелирования GPRS.

HARQ (Hybrid Automatic Repeat Query) – гибридная система коррекции ошибок.

HLR (Home Location Register) – регистр абонентских данных.

HO (Handover) – переключение вызова.

HSS (Home Subscriber Server) – сервер абонентских данных.

IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) – обратное быстрое преобразование Фурье.

IETF (Internet Engineering Task Force) – инженерная рабочая группа Интернет.

IMEI (International Mobile Equipment Identity) – уникальный международный идентификатор оборудования подвижной станции.

IMSI (International Mobile Subscriber Identity) – международный идентификатор подвижной станции.

IMT-2000 (International Mobile Telephony 2000) – международная программа ITU создания систем подвижной связи 3G.

IMS (IP Multimedia Subsystem) – IP-подсистема мультимедийной связи.

ISDN (Integrated Services Digital Network) – сеть интегрального обслуживания.

ISUP (ISDN User Part) – пользовательская часть ОКС7 сети ISDN.

ITU (International Telecommunication Union) – Международный союз Электросвязи – Сектор стандартизации в области связи.

LA (Location Area) – зона местонахождения.

LAI (Location Area Identity) – код зоны местонахождения.

LAP-D (Link access procedure on the D-channel) – протокол доступа к каналу D.

LLC (Logical Link Control GSM 04/65) – протокол поддержки логических соединений.

LSSU (Link Status Signal Unit) – сигнальная единица состояния звена ОКС7.

LTE (Long Term Evolution) – универсальный стандарт подвижной связи 4-го поколения.

MAC (Medium Access Control Protocol TS36.321) – протокол доступа к среде передачи.

MAP (Mobile Application Part) – прикладная подсистема ОКС7, поддерживающая подвижную связь стандарта GSM.

MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Services) – услуги мультимедийного вещания.

MIB (Master Information Block) – мастер-блок системной информации в LTE.

MIMO (Multiple Input Multiple Output) – многоантенная технология.

MME (Mobility Management Entity) – блок управления мобильностью,

MS (Mobile Station) – подвижная станция.

MSC (Mobile Switching Centre) – узел коммутации стандартных цифровых каналов 64 кбит/с.

MSISDN (Mobile Station ISDN Number) – номер подвижной станции в системе нумерации E.164.

MSRN (Mobile Station Routing Number) – номер MSC при установлении входящего соединения к нему.

MSU (Message Signal Unit) – сигнальная единица доставки сигнальных сообщений ОКС7.

MTP (Message Transfer Part) – часть доставки сообщений.

MUMIMO (Multi-User MIMO) – многопользовательские MIMO.

NAS (Non Access Stratum) – протокол обмена информацией между UE и MME.

NGN (Next Generation Network) – сеть следующего поколения.

NMT450 (Nordic Mobile Telephone) – первая европейская аналоговая система мобильной связи, работавшая в диапазоне 450 МГц.

NSP (Network Service Part) – часть сетевых услуг ОКС7.

OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Access) – технология множественного доступа с использованием ортогональных поднесущих.

PAR (Peak Average Rate) – пик-фактор.

PCRF (Policy and Charging Resource Function) – сервер управления ресурсами EPC.

PCU (Packet Control Unit) – модуль управления пакетами.

PDCP (Packet Data Convergence Protocol TS 36.323) – протокол конвергенции пакетов.

P-GW (Packet Data Network Gateway) – шлюз доступа к внешним IP-сетям.

PLMN (Public Land Mobile Network) – сеть мобильной связи.

PSS (Primary Synchronization Signal) – первичный синхросигнал.

PSTN (Public Switched Telephone Network) – телефонная сеть общего пользования.

QoS (Quality of Service) – качество обслуживания.

QAM (Quadrature Amplitude Modulation) – квадратурная амплитудная модуляция.

QPSK (Quaternary Phase Shift Keying) – квадратурная фазовая модуляция.

RAN (Radio Access Network) – Сеть радиодоступа.

RLC (Radio Link Control TS36.322) – протокол управления радиоканалом.

ROHC (Robust Header Compression) – протокол сжатия заголовков

RRC (Radio Resource Control TS 36.331) – протокол управления радиоресурсами.

SCCP (Signaling Connection Control Part) – часть управления сигнальным соединением.

SCTP (Stream Control Protocol) – протокол передачи с управлением потоками.

SGSN (Serving GPRS Support Node) – узел реализации услуг GPRS.

S-GW (Serving Gateway) – обслуживающий шлюз LTE.

SI (System Information) – системная информация.

SIB (System Information Block) – блок системной информации.

SIM (Subscriber Identity Mobile) – модуль идентификации абонента (sim-карта, или смарт-карта).

SN (Sequence Number) – порядковый номер.

SNDCP (Sub Network Dependent Convergence Protocol GSM 04.65) – протокол сегментирования и сборки IP пакетов.

SRS (Sounding Reference Signal) – опорный тональный сигнал.

SSS (Secondary Synchronization Signal) – вторичный синхросигнал.

SU-MIMO (Single-User MIMO) – однопользовательские MIMO.

TAU (Tracking Area Update) – процедура обновления зоны слежения.

TCAP (Transaction Application Part) – прикладная часть обеспечения транзакций.

TDD (Time Division Duplex) – обеспечение дуплексности направлений передачи с разделением во времени.

TRAU (Transcoding and Rate Adaptation Unit) – транскодер.

UDP (User Datagram Protocol) – протокол передачи датаграмм пользовательской информации.

UE (User Equipment) – пользовательское оборудование (подвижная станция).

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) – универсальная система мобильной связи.

UP (User Part) – пользовательская часть.

UpPTS (Uplink Pilot Slot) – пилотный слот восходящего направления.

VLR (Visitor Location Register) – оперативный регистр абонентских данных MSC.

Список литературы

1. *Кааранен, Х.* Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы / Х. Кааранен, А. Ахтифйнен, Л. Лаитинен, С. Найян, В. Ниemi. – М. : Техносфера, 2007. – 464 с.
2. *Данилов, В. И.* Сотовые телефонные сети стандарта GSM : учеб. пособие / В. И. Данилов ; СПбГУТ. – СПб., 1996. – 52 с.
3. *Волков, А. Н.* UMTS. Стандарт сотовой связи третьего поколения / А. Н. Волков, А. Е. Рыжков, М. А. Сиверс. – СПб. : Линк, 2008. – 224 с.
4. 3GPP TS 36.300 v10.2.0; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage2.
5. 3GPP TS 36.401 v9.2.0; E-UTRAN; Architecture description.
6. 3GPP TS 23.401 v10.0.0; General Packet Radio Service (GPRS) enhancement for E-UTRAN access.
7. 3GPP TS 29.275 v9.3.0; Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) based Mobility and Tunnelling protocols; Stage 3.
8. 3GPP TS 23.203 v10.0.0 Policy and charging control architecture.
9. 3GPP TS 36.211 v9.1.0; Physical Channels and Modulation.
10. 3GPP TS 36.101 v10.0.0; User Equipment (UE) radio transmission and reception.
11. 3GPP TS 36.321 v9.3.0; Medium Access Control (MAC) protocol specification.
12. 3GPP TS 36.213 v9.3.0; Physical layer procedures.
13. 3GPP TS 36.214 v9.2.0; Physical layer – Measurements.
14. 3GPP TS 36.306 v9.3.0; User Equipment (UE) radio access capabilities.
15. 3GPP TS 24.301 v10.0.0; Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3.
16. 3GPP TS 33.401 v9.4.0; 3GPP System Architecture Evolution (SAE); Security architecture.
17. 3GPP TR 36.902 v9.3.0; Self-configuring and self-optimizing network (SON) use cases and solutions.

Данилов Виталий Иванович

СЕТИ И СТАНДАРТЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Учебное пособие

Редактор С. Д. Щербакова

Компьютерная верстка Н. А. Ефремовой

План издания 2015 г., п. 21

Подписано к печати 08.04.2015

Объем 6,25 усл.-печ. л. Тираж 30 экз. Заказ 570

Редакционно-издательский отдел СПбГУТ

191186 СПб., наб. р. Мойки, 61

Отпечатано в СПбГУТ