#### *Министерство образования и науки Российской Федерации*

#### *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования*

#### *«Владимирский государственный университет*

#### *имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»*

Институт информационных технологий и радиоэлектроники

Кафедра радиотехники и радиосистем

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ О.Р. Никитин

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_

Основание:

решение кафедры

от «\_\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_

## ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОБИЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ ТРЕТЬЕГО И ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛЕНИЙ. КУРС ЛЕКЦИЙ

Составитель

Е.А. Архипов,

Владимир 2018

УДК 621.396.1

ББК 32.884.1

Рецензент

к.т.н., профессор

Колесник Г.П

## Широкополосные технологии мобильной радиосвязи третьего и четвертого поколений. Курс лекций; составитель Архипов Е.А., 2018.- 51с.

Приведены основные этапы развития мобильной связи третьего поколения. Про­анализирован процесс создания и стандартизации технических спецификаций систем мобильной связи UMTS, LTEи LTEAdvancedв ETSIи 3GPP. Раскрыты особенности радиоинтерфейсаE-UTRAпри приме­нении технологий множественного доступа OFDMAи SC-FDMA. Выполнен анализ возможно­стей технологии MIMOи принципы построения систем MIMO. Изложены основы ис­пользования пространственно-временного кодирования для технологии MIMO. Библиогр.: 33 назв.

УДК 621.396.1

ББК 32.884.1

**Содержание**

|  |  |
| --- | --- |
|  | *Лист* |
| Широкополосные технологии мобильной радиосвязи третьего и четвертого поколений | 4 |
| 1.Обзор современных стандартов систем мобильной радиосвязи | 6 |
| 1.1.Основные характеристики систем сотовой связи третьего поколения | 6 |
| 1.2. Частотное планирование системы. Использование полосы частот 1700…2200 МГц с учетом решений СЕРТ. | 12 |
| 1.3. Архитектура сети радиодоступа2. Эволюция систем мобильной радиосвязи третьего поколения  2.1. Технология HSDPA (**High Speed Downlink Packet Access)** **2.2Технология High-Speed Uplink Packet Access (HSUPA)**  **2.3. Высокоскоростные сети с поддержкой пакетной передачи данных High Speed Packet Access – HSPA**  3. Технология WIMAX 3.1. Стандарт IEEE 802.16e. 3.2. Сравнение WIMAX с другими технологиями  Библиографический список | 14  20  20  27  35  39  40  44  49 |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

## ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОБИЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ ТРЕТЬЕГО И ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛЕНИЙ

Широкополосные технологии 3G, хотя и не являются единственными технологиями беспроводной связи, впитали в себя все лучшее, что есть в пограничных технологиях IEEE 802.11,IEEE 802.16, DVB, DАB и другие. И поэтому, именно эта технология являются наилучшим решением для обеспечения мобильным широкополосным доступом, как в развивающихся, так и в развитых странах. Технологии 3G позволяют быстро прогрессировать, как мобильным, так и фиксированным операторам, в том числе - новым операторам, начинающим свою деятельность с чистого листа.

Системы третьего поколения мобильной связи ЗG реализуются на базе новыхрадиотехнологий, обеспечивающих высокую скорость передачи мультимедийной информации и беспроводной доступ в Интернет не уступающий сервису провайдеров стационарной сети. Система мобильной связи 3G развиваются в двух направлениях: UMTS и cdma 2000. В сетях связи последующих поколений широкополосный доступ займет исключительно важное место, представляя собой одну из фундаментальных составляющих концепции NGN( **N**ext **G**eneration **N**etwork — сети следующего поколения). К нему приковано особое внимание операторов связи в разработчиков нового оборудования. Деятельность по предоставлению услуг широкополосного доступа с большой долей вероятности станет новой крупной нишей телекоммуникационного рынка и уже одно это вызывает повышенный интерес к ним как со стороны различного рода инвесторов, так в государственных деятелей я политиков, регуляторов рынка. По данным маркетинговых исследований, широкополосные беспроводные сети на базе технологий сотовой связи третьего поколения обладают сегодня исключительными преимуществами по оперативности развертывания, охвату территории, мобильности, предоставляя во многих случаях не только наиболее эффективное, но иногда и единственно возможное экономически оправданное решение.

А для стран, в которых большая территория сочетается с невысокой плотностью населения, беспроводные сети имеют особое значение. Это особо важно для Российской Федерации, с нашей необъятной территорией и значительным разбросом населения, особенно в сельской местности.

## 

## 1.ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СТАНДАРТОВ СИСТЕМ МОБИЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ

**1.1.Основные характеристики систем сотовой связи третьего поколения**

Согласованные базовые требования, определяющие фило­софию 3G, в укрупненной формулировке таковы [40]:

* скорость передачи данных до 2 Мбит/св пределах полосы не более 5 МГц;
* возможность варьирования скорости в широком диапазо­не в зависимости от характера передаваемых данных;
* возможность мультиплексной передачи в рамках одного контакта данных разнообразного содержания и разного уровня требований к качеству (речь, мультимедиа, пакеты и т.п.);
* сосуществование систем 2G и 3G и возможность эстафет­ной передачи между ними с целью расширения зон покрытия и выравнивания трафика;
* поддержка асимметричного режима работы, когда линия "вниз" имеет значительно более напряженный трафик (например, при поиске информации в Internet) по сравнению с линией "вверх";
* возможность реализации дуплексной передачи в вариантах как частотного, так и временного разноса линий "вниз" и "вверх";
* максимальная гибкость сетевого оборудования и возмож­ность построения его на основе "набора инструментов" *(toolbox)]*

доступность мобилизации наиболее современных резер­вов улучшения качества связи (адаптация к условиям распро­странения, пространственная селекция терминала - *smart-*антенны, многопользовательские - multiuser-приемники и т.д.). Стандартом установлены жесткие ориентиры по скорости передачи:

• вне пределов больших городов при скорости движения пользователя до 500 км/час не менее 144 кбит/с (в будущем до 384 кбит/с);

• в пригородной и городской зоне при скорости до 120 км/час не менее 384 кбит/с (в будущем до 512 кбит/с);

• внутри помещений при скорости до 10 км/час не менее 2 Мбит/с.

Удовлетворить требованиям услуг связи 3Gмогут системы сотовой связи третьего-четвертого поколений UMTS/HSDPA/HSUPA/LTE, а также ряд интернет-ориентированных систем, таких как HiperMAN, IEEE 802.11, IEEE 802.16.

Основной недостаток систем мобильной связи второго поколения низкая ско­рость передами данных 9,6- 14,4 кбит/с. Стандартизацией сетей третьего поколения 3G в настоящее время занимается ITU (InternationalTelecommunicationsUnion - Международный Союз Электросвязи). С той целью была разработана группа стандартов, объединенных общим названием «IMT-2000 - «InternationalMobileTelecommunications 2000».  
В процессе разработки этих стандартов, в рамках ITU, были сформированы два независимых объединения, получившие названия 3GPP (3rd GenerationPartnershipProject) и 3GPP2. В первое объединение 3GPP входят ETSI (Европа), ARIB (Япония), Комитет T1 (США), а также три региональных органа стандартизации от Азиатско-Тихоокеанского региона - CWTS (Китай), TTA (Корея) и TTC (Япония).  
Во второе партнерское объединение 3GPP2 входят ассоциация TIA (представленная подкомитетами TIA TR-45.3 и TIA TR-45.3) и ряд азиатских региональных организаций: ARIB, CWTS, TTA и TTC.  
Участники 3GPP сумели согласовать особенности сво­их подходов к технологии широкополосной CDMA (W-CDMA) с частотным (FDD) и временным (TDD) дуплексированием, представив ITU проекты IMT-DS и IMT-TC, соответственно. В основу легло европейское предложение UTRA(UMTS(Univer­salMobileTelecommunicationSystemTerrestrialRadioAccess, радиоинтерфейс наземного доступа к системе UMTS) — UTRAFDD и UTRATDD.

Члены объединения 3GPP2 изначально предлагали фактически эволюцион­ный путь варианты развития технологий DAMPS (UWC-136) и cdmaOne (cdma2000). Данные предложения представлены ITU как проекты IMT-SC и IMT-MC. Реальное развитие получил лишь последний. Таким образом, сегодня в мире развиваются две ветви технологий 3GW-CDMA и cdma2000. Даже назва­ние отражает их принципиальную схожесть. Да и их путь развития во многом аналогичен. Однако сети W-CDMA получили более широкое распространение (как наследники GSM), поэтому несколько подробнее остановимся именно на этой технологии.

Эта технология легла в основу проекта наземного мобильного сегмента европейской универсальной системы телеком­муникаций UMTS. Было предложено два варианта W-CDMA с частотным и временным дуплексом (FDDW-CDMA и TDDW-CDMA) соответственно для парного (2110- 2170 и 1920-1980 МГц) и непарного спектров частот.

Технология основывается на расширении спектра методом прямой последо­вательности в полосе 5 МГц на канал. Изначально определенная скорость потока чипов 4,096 Мчип/с для согласования с другими стандартами была снижена до 3,84 Мчип/c. Таким образом, система может поддерживать требуемые 2 Мбит/с для малоподвижных абонентов и 384 кбит/с для мобильных. Предусмотре­на возможность применения интеллектуальных антенных систем (Smart-антенн с цифровым формированием диаграммы направленности). Принципы техноло­гии FDDW-CDMA во многом аналогичны cdmaOne (конечно, W-CDМA гораздосложнее). Одно из принципиальных отличийW-CDMA мо­жет быть асинхронной (возможен и синхронный режим).

В таблицах 1.1 и 1.2 приведены основные технические характеристики разрешенного для использования на территории РФ оборудования, предназначенного для сетей стандарта IMT-2000/UMTS.

**Таблица.1.1 Основные технические характеристики РЭС стандарта IMT-2000/UMTS (IMT-DS), разрешенных для использования на территории РФ в полосах радиочастот 1935-1980 МГц, 2125-2170 МГц**

| Параметр | Размерность | Значение ТТХ | |
| --- | --- | --- | --- |
| Абонентская станция | Базовая станция |
| Метод радиодоступа |  | DS-CDMAFDD Прямое расширение спектра c частотным дуплексным разносом | |
| Рабочий диапазон частот | МГц | ПРД 1935-1980  ПРМ 2125-2170 | ПРД 2125-2170  ПРМ 1935-1980 |
| Ширина частотного канала | МГц | 5 | |
| Сетка частот | кГц | 200 | |
| Ограничения по использованию полосы частот |  | Центральная частота канала, ближайшего к частоте 1935 МГц, равна 1938 МГц или выше  Центральная частота канала, ближайшего к частоте 1980 МГц, равна 1977,2 МГц или ниже  Центральная частота канала, ближайшего к частоте 2125 МГц, равна 2128 МГц или выше  Центральная частота канала, ближайшего к частоте 2170 МГц, равна 2167,2 МГц или ниже | |
| Классы излучения |  | 3М84G7W, 3M84G7D, 3M84G7E | |
| Характеристика класса излучения |  | 4-х позиционная фазовая манипуляция  QPSK | |
| Ширина спектра сигнала, МГц, на уровне | -3 дБ | 3,84 | |
| -30 дБ | 4,7 | |
| -60 дБ | не нормируется | |
| Максимальная мощность передатчика | дБм | 24 | 43 |

**Продолжение таблицы.1.1**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Побочные излучения |  | В соответствии с  Рекомендацией МСЭ-Р М.1457 | |
| Чувствительность приемника |  | В соответствии с  Рекомендацией МСЭ-Р М.1457 | |
| Избирательность по соседнему каналу |  | В соответствии с  Рекомендацией МСЭ-Р М.1457 | |
| Тип антенны |  | Всенаправленная | Секторная |
| Максимальный коэффициент усиления антенны | дБ | 0 | 19 |

**Таблица 1.2. Основные технические характеристики РЭС стандарта IMT-2000/UMTS (IMT-TC) в полосе радиочастот 2010-2025 МГц**

| Параметр | Размерность | Значение ТТХ | | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Абонентская станция | | Базовая станция |
| Метод радиодоступа |  | TDMA-CDMA TDD Прямое расширение спектра c временным дуплексным разносом | | |
| Рабочий диапазон частот | МГц | ПРД 2010-2025 ПРМ 2010-2025 | | |
| Ширина частотного канала | МГц | 5 | | |
| Сетка частот | кГц | 200 | | |
| Ограничения по использованию полосы частот |  | Центральная частота канала, ближайшего к частоте 2010 МГц, равна 2013,0 или выше  Центральная частота канала, ближайшего к частоте 2025 МГц, равна 2022,2 МГц или ниже | | |
| Классы излучения |  | 3М84G7W, 3M84G7D, 3M84G7E | | |
| Характеристика класса излучения |  | 4-х позиционная фазовая манипуляция  QPSK | 4-х позиционная фазовая манипуляция  QPSK  16-ти кратная квадратурная амплитудная модуляция 16QAM | |

**Продолжение таблицы.1.2.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ширина спектра сигнала, МГц, на уровне | -3 дБ | 3,84 | |
| -30 дБ | 4,7 | |
| -60 дБ | не нормируется | |
| Максимальная мощность передатчика | дБм | 24 | 43 |
| Побочные излучения |  | В соответствии с Рекомендацией МСЭ-Р М.1457 | |
| Чувствительность приемника |  | В соответствии с Рекомендацией МСЭ-Р М.1457 | |
| Избирательность по соседнему каналу |  | В соответствии с Рекомендацией МСЭ-Р М.1457 | |
| Тип антенны |  | Всенаправленная | Секторная |
| Максимальный коэффициент усиления антенны | дБ | 0 | 19 |

W-CDMA (UMTS) изначально разрабатывалась как замена сетей GSM с воз­можностью плавного перехода. В стандартах IMT-2000 для систем 3G использованы методы FDD (FrequencyDivisionDuplex) и TDD (TimeDivisionDuplex). Разделение каналов по времени подразумевает передачу каждого бинарного потока строго в своем временном окне. Временное разнесение прямого и обратного каналов связи в ряде случаев имеет множество преимуществ над частотным.  
Совместное использование этих двух методик позволяет изменять пропускную способность и способы организации связи. Достигается это за счет того, что парные полосы частот выделяются для систем, с частотным дуплексным разносом (FDD), а непарные - для систем с временным дуплексным разносом (TDD).  
При больших размерах сот и высокой скорости передвижения абонентов, метод FDD более эффективен. Вариант TDD предназначен для случаев, когда абонент передвигается с невысокой скоростью [3].  
В стандартах мобильной связи 3G термин UTRA (UMTS TerrestrialRadioAccess) означает название радиоинтерфейса наземного доступа в систему UMTS. Поскольку существуют раздельные стандарты для оборудования наземного, морского и космического базирования, то термин Terrestrial подчеркивает категорию размещения именно на суше.  
Отмеченный выше радиоинтерфейс TDMA/CDMA предназначен для организации связи в непарных полосах частот и представляет собой удачное сочетание двух различных технических решений - европейского предложения UTRA TDD и китайского TD-SCDMA.  
Этот вариант используется также в тех странах, которые ориентируются, в качестве опорной, на технологию GSM.  
Отметим, что на сегодняшний день в наиболее популярных версиях мобильных телефонов используется стандарт W-CDMA (IMT DirectSpread).  
Стандарт DECT EP (ETSI) объединяет две технологии - широкополосный доступ WCDMA и комбинированный доступ TDMA/CDMA .

Специально для Европы Европейским Институтом ETSI [3 - 4] была разработана технология UMTS (UniversalMobileTelecommunicationsSystem) – «универсальная мобильная телекоммуникационная система».  
Практически UMTS является европейской версией концепции IMT-2000. Технология WCDMA здесь применятся в качестве радиоинтерфейса.  
Необходимо подчеркнуть, что UMTS и WCDMA это два различных понятия, хотя в настоящее время их употребляют в качестве синонимов.  
Технологию UMTS часто рассматривают, как переходный вариант между существующими 2G и разрабатываемыми технологиями 3G - 4G. Иными словами, технология UMTS позволяет осуществить более мягкий переход на следующий этап развития сетей мобильной связи без заметного изменения существующего оборудования.

В UMTS в качестве базовой магистральной сети используется GSM MAP, а в качестве сетей радиодоступа применяются комбинированные сети GSM/EDGE и WCDMA.

Сети WCDMA надстраиваются над существующими сетями GSM. При этом сети GSM и WCDMA работают параллельно. Абонентская станция автоматически переключается между сетями.

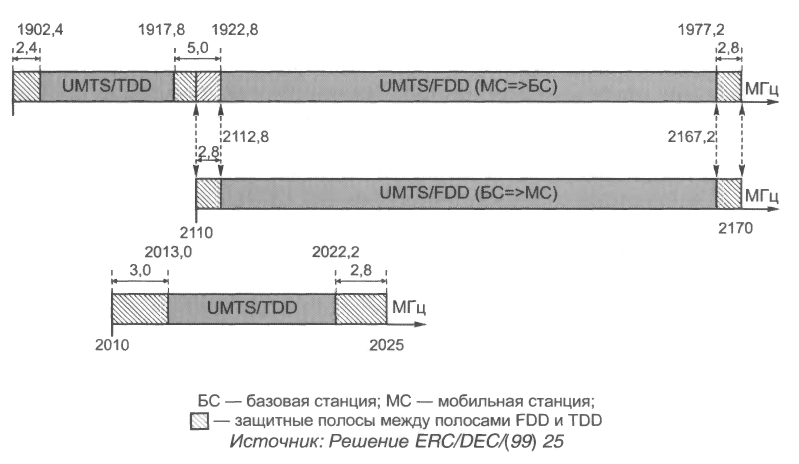
**1.2. Частотное планирование системы. Использование полосы частот 1700…2200 МГц с учетом решений СЕРТ**

Европейская конференция администраций почт и связи одобрила четыре решения Комитета по электронной связи (ElectronicCommunicationsCommittee – ECC), одну рекомендацию по проведению приграничной координации сетей UMTS и три отчета по использованию полос частот сетями UMTS.

В 1997 г. В 26 странах было принято Решение ERC/DEC/(97)07 [3], в соответствии с которым за сетями UMTS закреплялась полоса частот 1710…2200 МГц. Кроме того, решение определяло необходимость высвобождения в этой полосе частот не менее двух полос по 40 МГц к 2002 г. В 2000 г. появилось новое Решение ERC (00)01 [5], в котором вся полоса частот 1710…2200 МГц закреплялась не только за сетями UMTS, но и за любыми другими системами семейства IMT, а в 2006 г. – Решение ECC/DEC/(06)13.

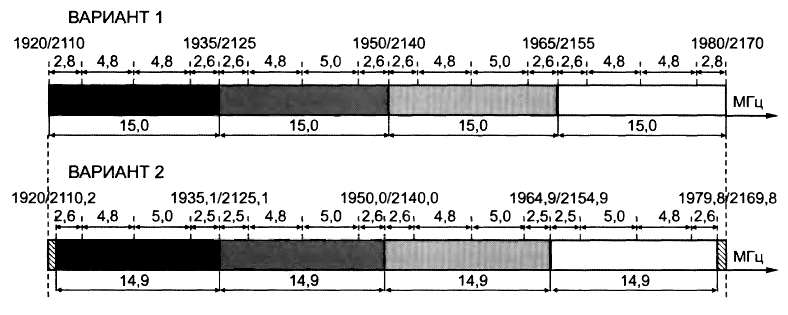
Однако еще до Решения ERC (00)01 было принято Решение ERC/DEC/(99)25 [4], которое установило порядок частотного планирования только для сетей UMTS (данное решение было реализовано в 27 странах СЕРТ) на основе канала с шириной 5 МГц, принятой для сетей UMTS (рис. 2.2). Это решение определило ограничения по назначению рабочих частот для сетей UMTS и по защитным полосам, также показанным на рис. 2.2. Основаниями для данного решения были исследования электромагнитной совместимости (ЭМС) сетей UMTS с другими системами (ERC Отчеты 064, 065, 019, 119).

В странах СЕРТ допускается использование в полосе частот 1700…2200 МГц любого из радиоинтерфейсов семейства IMT, однако порядок частотного планирования определен только для сетей UMTS. При частотном планировании регулятор должен обеспечить ширину защитного интервала между несущими частотами базовых станций различных операторов не менее 200 кГц.

**Рисунок 1.1. Ограничения по назначению частот сетей UMTS**

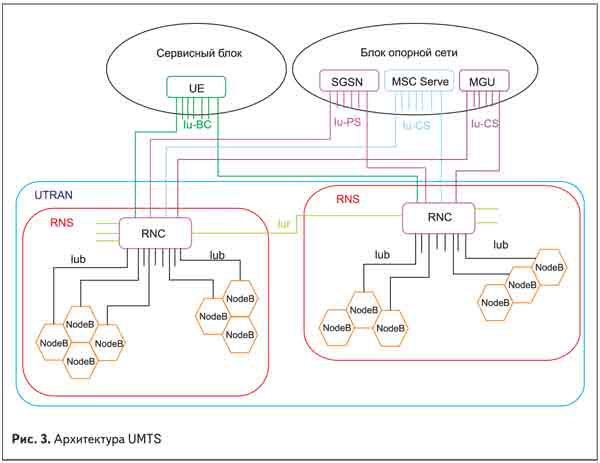
В 2002 г. было принято Решение ECC/DEC/(02)06 [6], которое закрепило полосу частот 2500…2690 МГц за сетями UMTS. Основанием для этого решения стали исследования ЭМС в данной полосе частот (ECC Отчет 045).

Учитывая решение ERC(99)25 и возможность наличия четырех операторов сухопутной подвижной связи третьего поколения, можно получить только два вырианта частотного плана (рисунок 1.3). В первом варианте каждому оператору выделяется равный частотный ресурс 2x15 МГц. Кроме того, операторы могут создать десять каналов шириной 4,8 МГц и два канала шириной 5 МГц каждый. Таким образом, частотный ресурс на защитные интервалы в данном варианте будет составлять 2x2 МГц или 3,3% всей полосы частот. Во втором варианте операторы могут создать восемь каналов шириной 4,8 МГц и четыре канала шириной 5 МГц. При этом неиспользуемый частотный ресурс будет составлять 2x1,6 МГц или 2,7% полосы частот.



**Рисунок 1.2. Варианты распределения полос частот между сетями UMTS четырех операторов на одной территории.**

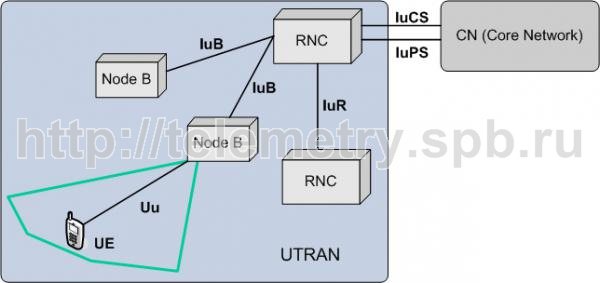
### 1.3. Архитектура сети радиодоступа



**Рисунок 1. 3. Архитектура UMTS**

### В архитектуре UMTS выделяют три основных функциональных блока: • Блок радио доступа к сети UMTS «UniversalTerrestrialRadioAccessNetwork –UTRAN»; • Сервисный блок « Service»; • Центральный блок «CoreNetwork - CN».

Структурная схема блока UTRAN показана на рисунке 4 [5].



**Рисунок 1.4. Структурная схема UTRAN**

На рисунках 1.3 и 4.4 использованы следующие обозначения:  
• UTRAN -UniversalTerrestrialRadioAccessNetwork: универсальный базовый блок радиодоступа к сети UMTS;

• Service: сервисный блок;

• CoreNetwork - CN: блок опорной сети;

• UE - UserEquipment: оборудование пользователя;

• SGSN - Serving GPRS SupportNode: базовая подстанция поддержки GPRS; • MSC Server - MobileServicesSwitchingCentre: сервер поддержки коммутаторов мобильной связи;

• MGW - Media gateway: сетевойшлюз;

• NodeB - базовая станция.

Символами Iu, Uu, Iub, Iur, Iubc, Iups, IucsIub на рисунках 1.3 и 1.4 обозначены внешние, внутренние и вспомогательные интерфейсы, обеспечивающие связь UTRAN с другим оборудованием.  
 Блок UTRAN объединяет два элемента: базовую станцию (Node B) и радио контроллер сети (RadioNetworkControllers RNC). Этот блок отвечает за функционирование всех радиочастотных каналов и модулей в сети UMTS.  
 Сетевой контроллер (RadioNetworkControllers - RNC) обеспечивает функциональность одной или нескольких базовых станции и может быть смонтирован непосредственно в оборудовании базовой станции. Несмотря на то, что в данном варианте реального физического интерфейса фактически нет, для удобства стандартизации вводится понятие логического интерфейса между базовой станцией и контроллером, обозначаемое, как «Iub».

Стандарты не прописывают подробно особенности самих блоков сети. Но при этом регламентируются логические и физические интерфейсы между элементами сети. В большинстве случаев RNC расположен на центральном диспетчерском пункте и используется для одновременного контроля нескольких районных базовых станций.

Совокупность двух элементов, состоящую из базовой станции и соответствующего ей контроллера RNC, в структурной модели UMTS называют подсистемой сети (RadioNetworkSubsystem - RNS). Таких подсистем в одном базовом блоке UTRAN может быть несколько.

В архитектуре UMTS рассматриваются следующие интерфейсы, с помощью которых базовый блок UTRAN взаимодействует с другими элементами сети:

Iu – внешний интерфейс между блоком опорной сети (CN) и контроллером RNC;

Uu – внешнийрадиоинтерфейс WCDMA между базовой станцией и абонентским оборудованием;

Iub – внешний интерфейс между базовой станцией и RNC;

Iur – внутренний интерфейс между двумя RNC;

Iubc – вспомогательный интерфейс между оборудованием пользователя и RNC;

Iups - вспомогательный интерфейс между оборудованием GSM/GPRS и RNC;

Iucs - вспомогательный интерфейс между коммутаторами и RNC.

ВнешнийрадиоинтерфейсUu определяет параметры мобильных абонентских станций (MS), которые предназначены для сетей 3G. Интерфейс Iu является открытым, что позволяет использовать в сетях UMTS оборудование разных производителей.

Интерфейс Iur, являсь открытым, позволяет реализовать мягкую эстафетную передачу абонента между станциями, оснащенными различным оборудованием. В сетях UMTS предусмотрена защита от обрывов связи в движении, за счёт использования метода «мягкого хэндовера». Например, если автомобиль движется по трассе с равномерно распределенными базовыми станциями, то при удалении от одной базовой станции связь с клиентом постепенно берет на себя ближайшая соседняя. При этом, соединение не прерывается скачком, как в сетях GSM. Естественно, что эта функция действует только в зонах с хорошим покрытием сети.  
Интерфейс Iub разработан, как полностью открытый, специально для того, чтобы привлечь инвестиций производителей оборудования в развитее сетей 3G.  
 Блок опорной сети включает в себя традиционное оборудование сетей GSM/GPRS, такое например, как:

• Транскодер (TRAU – Transcoder and Rate Adaptation Unit);

• Адресныйрегистр - Home Location Register (HLR);

• Визитныйрегистр - Visitor Location Register (VLR);

• Центркоммутацииподвижнойсвязи - Mobile Services Switching Centre (MSC);

• Шлюздлявыходанадругиесети - Gateway Mobile Switching Centre (GMSC);

• Блокподдержки GPRS - Serving GPRS Support Node (SGSN);

• Контроллербазовыхстанций – Base Station Controller (BSC).

Контроллер базовых станций распределяет канальный ресурс, коммутирует каналы, организует эстафетную передачу (handover), осуществляет сбор и передачу телеметрии в подсистему управления и обслуживания.  
Транскодер осуществляет кодирование и декодирование речевых сигналов со сжатием.  
 Адресный регистр представляет базу данных обо всех абонентах данного оператора. Гостевой регистр содержит данные об абонентах, находящихся в зоне действия сети.

Наиболее важные операции, которые выполняются в блоке базовой сети (CN) в общем случае сводятся к подключению мобильной абонентской станции (MS) к сети, ее пейджинга, селекции сот и локализации абонента, реализации входящих и исходящих вызовов и эстафетной передачи абонента между базовыми станциями. Базовая сеть (CN) логически разделяется на домен CS и домен PS.

Основная функция базовой станции UMTS заключается в обработке радиосигналов, канальном кодировании и адаптации скорости, расширении спектра и т.д. Кроме того, базовая станция выполняет одну из основных операций по управлению мощностью в внутреннем контуре.

Центр коммутации мобильной связи, входящий в состав блока базовой сети CN подключает сеть UMTS/GSM к различным внешним сетям, которые можно разделить на две группы: сети с коммутацией каналов (телефонные сети) и сети с коммутацией пакетов данных (Интернет).  
Поскольку центр коммутации (MSC) согласовывает работу системы радиосвязи со стационарными сетями, он выполняет все функции, необходимые для коммутации каналов, а также отвечает за управление соединением. Кроме того, центр коммутации должен выполнять процедуры, необходимые для регистрации местоположения, а также процедуры, необходимые для передачи обслуживания.

Чтобы обеспечить архитектуру CS, не зависящую от носителя в блоке CN вводятся шлюз среды MGW, обеспечивающий передачу пользовательских данных, и сервер MSC для обеспечения сигнализации. Такой подход дает возможность использовать универсальные IP – сети и создавать среды обслуживания, независимые от устройства коммутации. В архитектуре UMTS шлюз MGW является оконечным пунктом транспортной сети PSTN/PLMN и связывает UTRAN с CN через интерфейс Iu.  
В настоящее время существуют два основных типа сетей доступа: BSS - используется для сетей доступа GSM, GPRS и EDGE (GERAN), а RNS - используется для доступа WCDMA.

Сеть доступа GERAN может быть подключена к базовой сети (CN) либо через два традиционных интерфейса (A-интерфейс и интерфейс Gb), либо через интерфейсы Iu. Интерфейс Iups реализует связь между GERAN и доменом PS базовой сети Интерфейс Iucs используется для взаимодействия между GERAN и доменом коммутации каналов (CS) базовой сети.

В сетях UMTS предусмотрена функция QoS (QualityofService) с несколькими приоритетами: разговорный, потоковый, интерактивный, фоновый.  
Рассмотренная выше архитектура сетей UMTS показывает, что при переходе к сетям 3 G необходима замена как абонентских терминалов, так и подсистемы базовых станций. Кроме того, необходимо будет заменить значительную часть устаревшего оборудования, которое в настоящий момент используется на уровне опорных сетей. Существенным отличием в архитектуре сети является разделение коммутатора на два независимых уровня - уровень коммутации и уровень обработки сигнализации и контроля услуг.  
 Все это говорит о том, что для перехода к сетям 3G потребуется серьезная модернизация абонентских терминалов и подсистемы базовых станций. Для реализации этих целей потребуются инвестиции и новые электронные компоненты. Независимое параллельное развитие сетей UMTS наряду с существующими сетями 2G, требует огромных денежных средств. Поэтому разработчики стационарного оборудования и мобильных абонентских станций (MS) стараются искать совместимые решения, пригодные для использования в старых сетях 2G, а также в сетях нового поколения.  
 Эффективность сетей радиодоступа обусловлена возрастом использованных при ее создании технологий. В России базовые сети построены не так давно, поэтому они могут быть использованы для внедрения современных технологий ЗG. Вероятнее всего инфраструктура базовых сетей будет развиваться эволюционным путем, опираясь на существующие сети GSM, TDMA (IS-136), IP, IN и ISDN [2].

В настоящее время в качестве магистральных сетей применяются сети, использующие IP-технологии. Кроме того, модернизируются опорные сети GSM MAP и ANSI-41, которые были созданы для последних модификаций стандартов мобильной связи 2G-го поколения GSM/GPRS/EDGE. При этом, в большинстве случаев взаимодействие между тремя магистральными сетями - GSM MAP, ANSI-41 и базовой IP-сетью осуществляется через межсетевой интерфейс NNI (Network-to-NetworkInterface).

Сегодня все ведущие изготовители базовых модулей для MS выпускают совмещенные GSM/UMTS модули. Сотовые телефоны и терминалы, созданные на базе этих модулей, могут работать, как в сетях GSM/GPRS/EDGE, так и в сетях 3G. Со своей стороны, производители оборудования для базовых станций выпускают переключаемые программные коммутаторы (SoftSwitch), способные одновременно обслуживать базовые станции GSM и UMTS. В качестве примера можно привести разработки фирмы HuaweiTechnologies. Коммутационные платформы MSoftX3000 этой компании позволяют уменьшить капитальные вложения в развитие UMTS за счет того, что могут работать в сетях GSM, и UMTS сетях. Таким образом, устанавливая подобное оборудование в существующие сети GSM/GPRS, оператор окупает инвестиции в опорную сеть 3G за счет реальных абонентов сети 2G и таким образом избавляет себя от инвестиционных рисков.

**2. Эволюция систем мобильной радиосвязи третьего поколения**Первая редакция спецификации UMTS получила название 3GPP R99 [5].

Технология UMTS объединяет в себе две различных методики передачи радиосигнала: «GSM'sMobileApplicationPart» и «GSM familyofspeechcodecs».  
Для наземных передающих устройств, использующих UMTS, регламентируются несколько интерфейсов, получивших название «UMTS TerrestrialRadioAccess (UTRA)».

Спецификация 3GPP Release 4 ввела в стандарт шлюзы среды, сервер центра коммутации подвижной связи (MSC) и шлюз сигнализации (SGW MGW). Это позволило логически разделить пользовательские данные и информацию сигнализации в MSC.

Кроме того, в этой спецификации подробно описан универсальный базовый блок радиодоступа к сети UMTS – UTRAN. Также реализована поддержка высоких скоростей передачи данных даже до 2 Мбит/с.  
В настоящее время существует одиннадцать спецификаций 3GPP.

Рабочая группа 3GPP постоянно совершенствует стандарты IMT-2000/UMTS.

## 2.1.Технология HSDPA (****High Speed Downlink Packet Access)****

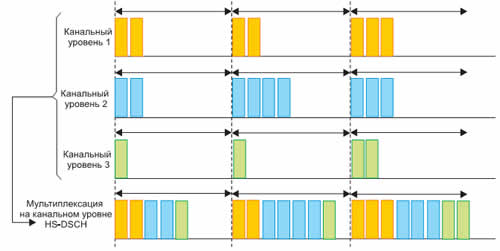
Она принадлежит к семейству решений WCDMA/UMTS, использующих пакетную передачу данных и полностью совместима с UMTS Release 99. Это позволяет одновременно предоставлять сервисы голосовой связи и передачи данных UMTS и HSDPA. Последняя модификация технологии HSDPA позволяет получать максимальную теоретическую скорость передачи данных до 21 Мбит/с в режиме «downlinktransfer» (от базовой к мобильной станции MS).Фактически, HSDPA является «надстройкой» к сетям UMTS, поэтому ее нередко называют поколением 3,5G.

Необходимо подчеркнуть, что протоколы HSDPA поддерживают только передачу данных от базовой станции к мобильной абонентской станции (MS), получившую название «нисходящая передача данных». Обратная передача данных от абонентской станции к базовой станции описывается протоколами HSUPA. Подробнее об этом будет сказано ниже.  
В спецификации 3GPP Release 5 была впервые опубликована архитектура технологии HSDPA [8]. В данном документе для HSDPA описаны алгоритмы адаптивной модуляции и кодирования AMC (AdaptiveModulationandCoding) и модернизированный метод автоматического запроса повторной передачи ARQ (AutomaticRequestforRepeat).

Отметим, что в Release 5 описаны протоколы IP версии 6 (IPv6). В этой версии добавлена также подсистема IP - мультимедиа (IMS). Домашний регистр (HLR) дополнен сервером собственных абонентов (HSS). В структуре UTRAN прописаны эффективные услуги мультимедиа на базе IP в UMTS. Кроме того, усовершенствована поддержка функции по определению местоположения (LCS).

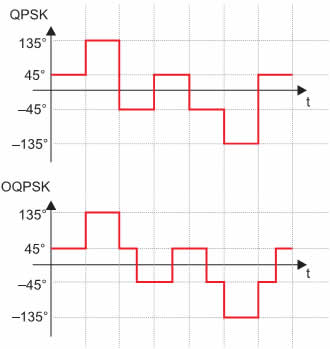
Для технологии HSDPA в спецификации стандартов 3GPP Release 5 используется новый транспортный канальный уровень «High-SpeedDownlinkSharedChannel (HS-DSCH)». В одном поддиапазоне возможна организация до 15 таких каналов с фактором распределения 16. Перераспределение каналов под задачи конкретных пользователей изменяется каждые 2 мс.  
Реализация этого уровня стала возможной за счет введения в стандарт трех новых физических каналов:HS-SCCH - HighSpeed-SharedControlChannel: высокоскоростной контрольный канал информирует пользователя о том, что данные отправлены на HS-DSCH (два верхних слота);  
HS-DPCCH - UplinkHighSpeed-DedicatedPhysicalControlChannel: канал для подтверждения информации о доставке текущего контроля качества передачи;  
HS-PDSCH - HighSpeed-PhysicalDownlinkSharedChannel: канал по которому физически передаются данные пользователя. При этом данные передаются в виде избыточного кода, содержащего собственно данные и дополнительные информационные биты.

В технологи HSDPA реализован метод ARQ -механизм защиты от помех, при котором передача данных происходит по блокам. На приемной стороне обеспечивается контроль ошибок и генерация запроса о необходимости повторения той части информации, где обнаружены ошибки. В случае некорректного приема данных, в новой технологии FHARQ (FastHybridAutomaticRepeatRequest) подтверждение приема пакетов отслеживается, как базовой станцией, так и абонентской станцией. Повторные пакеты чередуются с вновь передаваемыми пакетами.  
Оцифрованная информация мультиплексируется и кодируется для передачи по соответствующему физическому каналу. Схема мультиплексирования с временным и кодовым разделением в канале HS-DSCH, объединяющим три транспортных канала DCH 1-3.приведена на рисунке 2.1.



**Рисунок 2.1. Схема мультиплексирования с временным и кодовым разделением в канале HS-DSCH**

В технологии HSDPA применяются схемы модуляции QPSK (QuadraturePhase-ShiftingKeying) квадратурная фазовая модуляция и 16, 64 - QAM (QuadratureAmplitudeModulation) квадратурная амплитудная модуляция.  
При использовании QPSK, в зависимости от значения информационного элемента, изменяется только фаза сигнала, в то время как амплитуда и частота не меняются. При этом, каждому информационному биту ставится в соответствие не абсолютное значение фазы, а ее изменение относительно предыдущего значения (рисунок 1.2).



**Рисунок 2.2. Принцип фазовой модуляция цифрового сигнала**

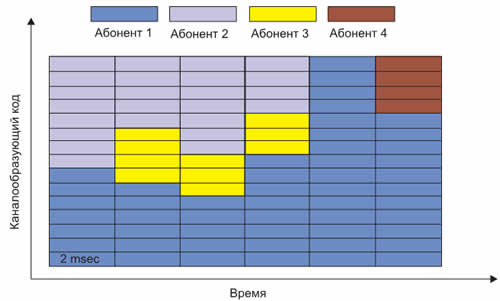
В квадратурной фазовой модуляции используются четыре значения фазы несущего колебания. В этом случае фаза сигнала должна принимать четыре значения:: 45°, 135°, 225° и 315°, размещенных на равных расстояниях на окружности. При использовании четырех фаз, в QPSK на символ приходится два бита. Хотя QPSK можно считать квадратурной манипуляцией (QAM - 4), иногда её проще рассматривать в виде двух независимых модулированных несущих, сдвинутых на 90°. При таком подходе чётные (нечётные) биты используются для модуляции синфазной составляющей, а нечётные (чётные) — квадратурной составляющей несущей. В схеме QPSK фаза несущего колебания меняется скачкообразно в зависимости от информационного сообщения. Фазовая модуляция QPSK обеспечивает высокую помехоустойчивость. Однако в ряде случаев за счет уменьшения помехоустойчивости канала связи можно увеличить его пропускную способность. Более того, при применении помехоустойчивого кодирования можно более точно планировать зону, охватываемую системой мобильной связи.

В другом случае, после канального кодирования и перемежения битов производится преобразование информации с помощью модуляции 16 - QAM (QuadratureAmplitudeModulation) в так называемые «QAM-ячейки».  
В этих случаях каждому комплексному символу модуляции соответствует гармоническое колебание, имеющее одно из 4, 16 или 64 возможных сочетаний амплитуды и начальной фазы или такое же количество кодовых комбинаций, каждая из которых соответствует определенному варианту гармонического колебания. Например, в случае квадратичного амплитудного преобразования 4 – QAM получим двоичную кодовую комбинацию, содержащую 2 бита (00, 01, 10, 11).В случае 16 - QAM такие комбинации содержат по 4 бита информации, а в случае 64-QAM – по 6 битов.  
Стандартами UMTS/HSDPA. предусмотрено 20 категорий с различными значениями максимального числа одновременно используемых кодов (до 15), и типом модуляции в радиоканале (QPSK или QAM). Каждой из этих комбинаций соответствует максимальная скорость передачи данных в пакетном режиме стандарта HSDPA в нисходящем направлении (от базовой станции к мобильному терминалу).

**Таблица 2. 1. Cкорость передачи в технологии HSDPA в зависимости от типа используемой модуляции**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Протокол | Версия 3GPP | Категория | Максимальное число кодов HS-DSCH | | Модуляция | | MIMO, Dua;-Cell | | Коэффициент избыточности кода при максимальномбитрейте | | Битрейт, Мбит/с |
| HSDPA | Release 5 | 1 | 5 | | 16-QAM | |  | | 0,76 | | 1,2 |
| 2 |  | |  | |  | |  | | 1,2 |
| 3 |  | |  | |  | |  | | 1,8 |
| 4 |  | |  | |  | |  | | 1,8 |
| 5 |  | |  | |  | |  | | 3,6 |
| 6 |  | |  | |  | |  | | 3,6 |
| 7 | 10 | |  | |  | | 0,75 | | 7,2 |
| 8 |  | |  | |  | | 0,76 | | 7,2 |
| 9 | 15 | |  | |  | | 0,7 | | 10,1 |
| 10 |  | |  | |  | | 0,97 | | 14 |
| 11 | 5 | | QPSK | |  | | 0,76 | | 0,9 |
| 12 |  | |  | |  | |  | | 1,8 |
| HSPA+ | Release 7 | 13 | 15 | | 64-QAM | |  | | 0,82 | | 17,6 |
| 14 |  | |  | |  | | 0,98 | | 21,1 |
| 15 |  | | 16-QAM | | MIMO | | 0,81 | | 23,4 |
| 16 |  | |  | |  | | 0,97 | | 28 |
| 19 |  | | 64-QAM | |  | | 0,82 | | 35,3 |
| 20 |  | |  | |  | | 0,98 | | 42,2 |
| Dual-Cell HSDPA | Release 8 | 21 |  | | 16-QAM | | Dual-Cell | | 0,81 | | 23,4 |
| 22 |  | |  | |  | | 0,97 | | 28 |
| 23 |  | | 64-QAM | |  | | 0,82 | | 35,3 |
| 24 |  | |  | |  | | 0,98 | | 42,2 |
| DC-HSDPA w/MIMO | | | Release 9 | 25 | |  | 16-QAM | Dual-Cell+; MIMO | | 0,81 | 46,7 |
| 26 | |  |  |  | | 0,97 | 55,9 |
| 27 | |  | 64-QAM |  | | 0,82 | 70,6 |
| 28 | |  |  |  | | 0,98 | 84,4 |
| DC-HSDPA w/MIMO, HSPA++ | | | Release 11\* | нд | | нд | 64-QAM++ | Dual-Cell++; MIMO++ | | нд | 672\* |

При увеличении числа позиций QAM увеличивается пропускная способность канала связи в логарифмической пропорции log264/log216/log24. Однако при этом снижается помехоустойчивость, поскольку уменьшаются разности между смежными значениями амплитуд и фаз.  
Пропускная способность каналов связи и скорость передачи зависит от фактора распределения (spreadingfactor), который определяет количество каналов связи, закодированных в один поддиапазон.  
Теоретически, UMTS/HSDPA позволяет назначить три таких «нисходящих» канала для одного абонента. Однако, на практике не стоит забывать о том, что чем больше число пользователей, тем меньше пропускная способность.  
На рисунке 1.3 показано распределение спектра между абонентами сети HSDPA [10]. Как правило, одной и той же сетью пользуются одновременно несколько абонентов. Скорость передачи постоянно меняется, система следит за этим, и с интервалом в 2 мс, автоматически регулирует мощность, подстраиваясь под условия среды. При этом приоритет предоставления каналов для получения данных от базовой станции отдается тем пользователям, для которых поддерживается наилучшее качество сигнала. Поэтому пользователи, которые первыми получили доступ к сети в то время пока, уровень сигнала невысок, находятся в состоянии ожидания улучшения пропускной способности.



**Рисунок 2.3. Распределение спектра между абонентами в зависимости от условий приема**

Дополнительную информацию о технологии HSDPA можно найти в [11, 12].

**2.2Технология High-Speed Uplink Packet Access (HSUPA)**

Для того, чтобы регламентировать параметры абонентских станций и определить порядок их взаимодействия с базовыми станциями, была разработана технология HSUPA (High-SpeedUplinkPacketAccess) - высокоскоростная пакетная передача данных в направлении «Вверх – от абонента к базовой станции ».

Работу над проектом HSUPA группа 3GPP начала еще в 2002 году. Идея стандарта была сформулирована фирмами Nokia, Samsung, SonnyEricson и другими лидерами мирового рынка мобильных телефонов и звучала, как «максимальная скорость при максимальном радиусе действия и минимальном энергопотреблении». Эта идея была технически сформулирована в3GPP Release 6.

К сожалению, принципиальные различия между передачей данных «вверх» (от абонентской станции к базовой) и «вниз» (от базовой станции к абонентской) явились непреодолимым препятствием для того, чтобы просто взять и использовать всю архитектуру и профили технологии HSDPA для мобильных абонентских станций (мобильные бытовые телефоны, базовые модули и законченные терминалы).

Основная проблема в согласовании процессов передачи «вверх» и «вниз» заключается в потребляемой мощности. На базовой станции отбираемая мощность передатчика не ограничена в пределах действующих нормативов. Поэтому разработчики оборудования для базовых станций могут совершенствовать технологии передачи, не задумываясь о проблемах потребляемой мощности. Для бытовых мобильных телефонов, которые составляют основную часть этого рынка, потребляемая мощность является одним из основных критериев выигрыша в конкурентной борьбе.  
При разработке HSUPA использованы методы, как временного, так и канального кодирования. Поскольку значительная часть энергопотребления базовой станции HSDPA приходится именно на эти блоки модуляции, данный метод в чистом виде не может быть использован для HSUPA. Поэтому, в технологии HSDPA была введена функция коррекции мощности передачи в зависимости от условий среды. Это позволяет сохранить скорости передачи при перегрузках в сети в условиях интенсивных помех. Но это оборудование тоже достаточно энергоемкое.  
Проблема энергопотребления возникает и при рассмотрении метода модуляцией. При использовании квадратурной амплитудной модуляции, для улучшения пропускной способности нужно увеличивать уровень модуляции, но при этом возрастает сложность оборудования и энергопотребление.  
Другая проблема связана с поэтапной передачей движущейся абонентской станции (softhandover). В этом случае принимающая базовая станция должна отслеживать меняющийся сигнал движущегося клиента и передавать его другой станции, обеспечивающей лучшие условия приема.  
Согласно основному варианту спецификации Relaese 6, в технологии HSUPA использованы модифицированные принципы, использованные при разработке технологии HSDPA. Однако, технология передачи данных «Вверх» отличается от технологии передачи «Вниз».  
В редакции HSUPA 3GPP Release 6 внесены перечисленные ниже изменения по сравнению с предыдущей версией Release 5.

1. Добавлены новые объекты МАС уровня (управления доступом к среде передачи данных):

• MAC-e/es в блоке абонентской станции (АС);

• MAC- es в блоке базовой станция;

•MAC es на контроллере радиосети.

2. В транспортном канале введен новый расширенный выделенный канал передачи данных E-DCH.

3. Добавлен физический каналы: E DPCH (DedicatedPhysicalChannel) – выделенный физический канал. В нем мультиплексированы два физических канала, DPDCH (DedicatedPhysicalDataChannel – выделенный физический канал передачи данных) и DPCCH (DedicatedPhysicalControlChannel – выделенный физический канала управления). Кроме того добавлены расширенный канал индикации сообщения о доставке (E-HICH), управляющий канал регулировки мощности относительно опорного уровня (E-RGCH), канал для автоматического регулирования абсолютного значения мощности абонентской станции (E-AGCH)

4. Время инкапсуляции и формирование пакетов данных сокращено до 2 мс. Однако оставлена возможность использования и TTI, равное 10 мс.  
5. Значение коэффициента расширения (SF) принято равным 2.

6 Увеличена скорость повторной передачи на первом уровне.

7. Для контроля факта доставки данных использован гибридный метод HARQ.

8. Введено жесткое управление доступом к эфиру и скоростью передачи со стороны базовой станции.

9. Реализованы новые протоколы фрейма, ускоряющие работу нинтерфейсовIub и Iur .

Интерфейс Iub соединяет базовую станцию с блоков контроллеров. Интерфейс Iur поддерживает сигнальный протокол RNSAP (RadioNetworkSubsystemApplicationPart) По этому интерфейсу организуют связь между обслуживающим контроллером (Serving) SRNC и пассивным контроллером (Drift DRNC). При выполнении хэндовера SRNC осуществляет управление радиоканалами (radiolinkmapping).В технологии HSUPA для передачи данных от абонента к базовой станции применяются расширенные выделенные каналы (UplinkEnhancedDedicatedChannel - UE DCH), которые позволяют использовать тот же метод линейной адаптации (LinkAdaptationMethod - LAM), что и в технологии HSDPA. В свою очередь этот метод дает возможность реализовать в технологии HSUPA модель ортогонального частотного разделения каналов. При этом последовательный поток информации разбивается на отдельные блоки и символы. Символы разных блоков передаются параллельно, каждый на своей поднесущей частоте. Преимущество данного метода состоит в том, что он позволяет снизить до минимума межсимвольные искажения, возникающие в радиоканале. За счет уменьшения размеров блока данных удалось сократить время инкапсуляции и формирование пакетов данных.На первом уровне в структуре HSUPA введены новые физические каналы:

E-AGCH (AbsoluteGrantChannel)– канал с абсолютным значением ограничения мощности абонентской станции, определяющий опорный уровень;  
E-RGCH (RelativeGrantChannel) – канал регулировки мощности относительно заданного значения;

F-DPCH (Fractional-DPCH) – частичный выделенный физический канал, который является модернизированным вариантом канала DPCCH, адоптированным для высокоскоростной пакетной передачи данных вверх;  
E-HICH (E-DCH Hybrid ARQ IndicatorChannel) – индикаторный канал;  
E-DPCCH (E-DCH DedicatedPhysicalControlChannel) – контрольный канал передачи данных;E-DPDCH (E-DCH DedicatedPhysicalDataChannel) – контрольный канал состояния данных.

В стандарте HSUPA модернизированы протоколы, обеспечивающие управление ресурсами канала и отвечающие за установление, поддержание и разрыв низкоуровневых соединений, динамический выбор частотных каналов и др.

В блоке абонентской станции на уровне МАС добавлен подуровень который отвечает за контроль доставки и покадровый формат данных в процессе передачи данных.В блоке базовых станций также введены изменения в уровне, контролирующем факт получения данных.  
В блоке контроллеров (S-RNC) добавлен уровень (MAC-es), поддерживающий повторный запрос на получение данных в случае ошибки. Кроме того, этот уровень обеспечивает совместную обработку данных, полученных от базовых станций в процессе эстафетной передачи (handover) для одного и того же абонента.Для ускорения работы интерфейсов Iub/Iur также добавлен новый протокол.В технологии HSUPA изменены протоколы МАС (протоколы управления доступом к среде передачи), для базовой станции (MAC-e), для абонентской станции (MAC-e/es ) и для блока управляющих контроллеров (MAC-es). .Протокол MAC–e структурирован в блоке базовой станции. Этот протокол вводится отдельно для каждой абонентской станции и регулирует ее взаимоотношения с базовой станцией. В рамках этого протокола абонентская станция запрашивает разрешение на связь с базовой станцией и управляет работой повторной передачи в случае ошибки.  
Протокол MAC-es в обслуживающем контроллере также вводится персонально для каждой абонентской станции и выполняет следующие функции:  
1. Объединяет и преобразовывает протокольный блок данных (ProtocolDataUnit) уровня MAC-es в соответствии с кодировками и номерами каждого кадра и подкадра.

2. Поддерживает операцию дизассемблирования протокольного блока данных MAC-es .

Протокол MAC-e/es для абонентской станции отвечает за следующие процессы:  
1. Сопровождение метода гибридного контроля за подтверждением получения данных.

2. Мультиплексирование данных и присвоение идентификациооного кодовой последовательности абонента (TransmissionSequenceNumber – TSN).  
3. Выбор транспортного формата передачи данных на основе полученного статуса выхода в эфир.

При передаче данных от абонента к станции, когда используется расширенный выделенный канал, два кодированных композитных транспортных канала CCTrCH используются одновременно. Транспортный канал может быть сконфигурирован так, что время инкапсуляции (интервал передачи) было бы или 10 мс или 2 мс. При этом заданный интервал передачи 10 мс обязательно должен поддерживаться всеми абонентскими станциями, допущенными для работы в сети, а интервал передачи 2 мс является опционным.

Каждая абонентская станция может иметь только один транспортный выделенный канал передачи данных в конкретный момент времени.  
Транспортный блок E-DCH (расширенный выделенный канал) на физическом уровне нагружен на канал E-DPDCH, который работает со временем инкапсуляции 10 мс или 2 мс. В основополагающей спецификации Release 6 для канала E-DPDCH используется модуляция QPSK. В спецификации Release 7 есть возможность использовать 4 -PAM модуляцию (Pulseamplitudemodulation - импульсная амплитудная модуляция). Различные модификации модуляций отражены в последующих спецификациях Release 8-11.

Поскольку дляпри передаче данных по DPCCH, сначала передаются вспомогательные символы и последовательность символов (RSN), то на уровне E-DPDCH не может быть передана никакая другая информация, кроме полезных символьных данных.

Для увеличения скорости передачи в канале E-DPDCH используются комбинации мультикодов. При этом используются ортогональные коды с переменным коэффициентом расширения, равным 2. В принципе, возможны и другие варианты кодов с переменной длиной, определяемой коэффициентом расширения спектра SF. Такие коды формируются на основе заданного алгоритма, и каждый последующий уровень удваивает число возможных кодовых комбинаций. Различные наборы кодов обуславливают различные скорости передачи. Так, например, один код с коэффициентом расширения SF4 соответствует скорости передачи 960 Кбит/с. Два кода с коэффициентом расширения SF4дают скорость 1920 Кбит/с. Два кода с коэффициентом расширения SF4 и два кода с коэффициентом расширения SF4 увеличивают скорость до 5760.Выделенный контрольный канал (E-DPCCH) предназначен для переноса информации о подтверждении получения переданных абонентской станцией данных.  
По этому каналу передается перечисленной ниже информация.  
1. Информация о расширенном транспортном формате передачи данных, которая составляет последовательность 7 битов длиной, определяет скорость передачи данных.

2. Дополнительные 2 бита, содержащие данные о повторной передаче. При этом RSN сообщает, является ли пакет новым или повторной передачей ранее переданного пакета.

3. Последний 1 бит – дает разрешение или запрещение абонентской станции использовать более высокую скорость передачи по направлению «вверх» (передача данных от абонента к станции).

Для случая, когда время инкапсуляции равно 2 мс, десять информационных битов закодированы в 30 битах трех последовательных временных интервалов.  
В варианте со временем инкапсуляции, 10 мс, контент подкадров с TTI, равным 2 мс, просто продублирован пять раз.Выделенный канал индикации сообщения о доставке (Hybrid ARQ IndicatorChannel HICH) может совместно быть использован несколькими пользователями одновременно. Для того, чтобы различать сигналы каждого пользователя в сетях с кодовым разделением используются специальные кодовые последовательности символов, называемые индивидуальными ортогональными подписями. В сетях HSUPA каждому пользователю выделяется одна ортогональная подпись для канала E-HICH и одна для канала E-RGCH (управляющего канала регулировки мощности передачи данных). Поскольку на канале HICH доступно всего 40 ортогональных подписей, то только 20 пользователей могут использовать тот же самый кодовый канал в каждый определенный момент времени.

Управляющий канал относительной регулировки мощности для абонентской станции (RelativeGrantChannel E-RGCH) предназначен для того, чтобы повысить или понизить выходную мощность передатчика абонентской станции (АС). По данному каналу не передается точное значение мощности, которую абонентская станция должна установить. Базовая станция (БС) отслеживает сигнал АС и регулярно сообщает ей текущий статус, относительно которого АС должна регулировать свою работу. В случае если связь ухудшается, БС выдает команду на увеличение мощности передачи АС. В том случае, когда абонентов в сети мало и сигнал АС достаточно сильный, БС посылает управляющий сигнал на уменьшение мощности.  
Канал абсолютной регулировки мощности (AbsoluteGrantChannel, E-AGCH) предназначен для того, чтобы установить верхний предел мощности передатчика абонентской станции, который может быть задействован в данный конкретный момент.

Максимальная мощность напрямую связана с максимальной скоростью передачи данных. В отличие от метода относительного регулирования мощности, абсолютное ограничение задается достаточно редко, когда АС запрашивает канальные ресурсы и когда устанавливается несущая частота.  
По каналу E-AGCH базовая станция передает два вида сообщения:

1. Точное значение уровня ограничения мощности (AbsoluteGrantvalue);  
2. Характер ограничения мощности (Scope AG).

Характер ограничения мощности указывает на то, будет ли значение AbsoluteGrant использоваться только в методе гибридного контроля подтверждения получения данных (HARQ) или будет использоваться также в других процессах.

При запросе на установление соединения с базовой станцией абонентская станция передает информацию о своих технических возможностях. В зависимости от этих технических возможностей, базовая станция устанавливает для конкретной АС соответствующий режим связи.  
В технологии HSUPA использована методика гибридного метода автоматического запроса повторной передачи ARQ (HybridAutomaticRequestforRepeat - HARQ). Базовым в этом варианте является метод «StopandWait», который означает, что перед началом трансляции нового блока данных передатчик ожидает подтверждения успешного приема предыдущего блока данных.  
Как правило, этот метод используется в режиме OFDMA, который позволяет выделить специальный канал для подтверждения передачи. Если HARQ включен, каждый пакет, переданный базовой станцией, требует от абонентской станции подтверждения получения по специальному обратному каналу. В тех случаях, когда получено сообщение об ошибке или подтверждение успешного приема не получено в установленный срок, базовая станция приступает к повторной передаче. С этой целью можно использовать два метода. В одном случае применяется так называемый метод передачи с увеличивающейся избыточностью (IncrementalRedundancy – IR). При подключении функции HARQ, для каждого исходного пакета в канальном кодере формируется до четырех субпакетов, каждый со своим идентификатором (SPID). Если произошел сбой, повторно транслируется субпакетсдругим SPID , который имеет тот же самый кодированный исходный пакет, но с иными параметрами кодера. В методе с «управляемым комбинированием» (ChaseCombining – СС), в случае возникновения ошибки, осуществляется повторная трансляция одного и того же кодированного пакета. Этот метод может использоваться только с мобильными абонентскими станциями.

В варианте HSUPA при передаче от абонентской станции к базовой, как отмечалось выше, используется принцип приоритетов. Первоначально абонентская станция запрашивает разрешение на начало передачи. Базовая станция принимает решение, сколько и какие именно станции будут участвовать в сеансе связи. Также в режиме передачи «Вверх» реализован вариант работы по расписанию «scheduledmode», при котором абонентская станция выходит на связь в заранее оговоренное время. Предусмотрен режим работы в экстренных случаях.

Следует также отметить улучшенную систему контроля качества передачи данных (QoS). Блок контроля качества может обслуживать до 15 логических каналов, которые мультиплексируются на одном PDU уровне. При этом у каждого логического канала могут быть свои различные значения QOS и различные приоритетные уровни.

В настоящее время стандарты 3GPP (Realease 6, 7, 8, 9, 10, 11) регламентируют девять категорий технологии HSUPA, которые определяются различным набором параметров. Эти категории определяют технические характеристики и свойства конкретной абонентской станции (мобильного телефона или терминала). Категории мобильных абонентских станции, поддерживающих технологию HSUPA, показаны в таблице 1.4 [14]. Видно, что скорость передачи данных определяется комбинацией базовых параметров оборудования, таких, как CT, SF, TTI, MTW TTI.

**Таблица 2.4. Скорость передачи в технологии HSUPA для различных категорий абонентских станций**

|  |
| --- |
|  |
| Наименование категории абонентской станции в соответствии со стандартами 3GPP | Максимальная скорость передачи от абонента к базовой станции, Мбит/с | Наименование коммерческой версии абонентской станции, доступной в свободной продаже |
| Category 1 (3GPP Rel 99) | 0,73 |  |
| Category 2 (3GPP Rel 2) | 1,46 |  |
| Category 3 (3GPP Rel 3) | 1,46 |  |
| Category 4 (3GPP Rel 4) | 2,00 | Nokia: X3-01, N8, C5, C3-01, E52, E72, E55, 6700 Classic, N900, 5630 XpressMusic; BlackBerry: Storm 9500, 9530; HTC: Dream, Passion (Nexus One)[3]; Sony Ericsson: C510, C903, W705, W995, T715; Samsung: Wave, Wave II |
| Category 5 (3GPP Rel 5) | 2,93 | Qualcomm 6290 |
| Category 6 (3GPP Rel 6) | 5,76 | BlackBerry Tour 9630, Nokia CS-15, Option GlobeTrotter Express 441/442, Option iCON 505/505M, Samsung i8910, Apple iPhone 4, Huawei, E180/E182E/E1820/ E5832/EM770W, Micromax A60 |
| Category 7 (3GPP Rel 7) | 11,5 |  |
| Category 8 (3GPP Rel 8) | 11,5 | Параметрымодуляции: 2 ms, dual cell E-DCH operation, QPSK only, 3GPP Rel 9 TS 25.306 |
| Category 9 (3GPP Rel 9) | 23 | Параметрымодуляции: 2 ms, dual cell E-DCH operation, QPSK and 16QAM, 3GPP Rel 9 TS 25.306 |
| Category 11/12 (3GPP Rel 11)\* | 70\* |  |

Данные таблицы показывают, что чем выше категория абонентской станции, тем выше и ее скорость передачи. Максимальная теоретическая скорость, с которой абонентская станция может передавать данные на базовую станцию, на сегодняшний день составляет 23 Мбит/с. Однако, это теория. Еще раз подчеркнем, что скорость передачи является переменной величиной, которая в каждый конкретный момент времени зависят от возможностей абонентской станции (мобильного телефона, смартфона, базового модуля), оборудования базовой станции и от загрузки сети.

## **2.3. Высокоскоростные сети с поддержкой пакетнойпередачи данных HighSpeedPacketAccess– HSPA**

Термин HSPA (High-SpeedPacketAccess) - высокоскоростная пакетная передача данных объединяет в одно название две рассмотренные выше технологии:  
• HSDPA (передача данных от базовой станции к абоненту);  
• HSUPA (передача данных от абонента к базовой станции).  
В стандарте 3GPP Release 8 была разработана усовершенствованная технология, получившая название Dual-Cell HSDPA.

Системы широкополосного доступа начиная с Release 8 получили название LNE. Теоретически, этот метод позволяет удвоить скорость передачи данных от базовой станции к абоненту за счет использования удвоенной пропускной способности. Идея технологии Dual-Cell HSDPA заключается в том, что в сети HSDPA используются две различных радиочастоты. Если задействовать их одновременно для передачи данных, то появляется возможность получить два одновременных канала передачи данных «вниз». Сама идея напоминает методику, которая используется в некоторых маршрутизаторах Wi-Fi.  
Как было отмечено выше, в сетях третьего поколения выделяются непрерывные полосы частот в определенном частотном диапазоне. Например, в России две непрерывных полосы по 15 МГц в диапазонах 1935 – 1980 МГц и 2125 -2170 МГц выделены для организации трех каналов в режиме частотного дуплекса (IMT-DS).  
Непрерывный участок шириной 5 МГц в полосе радиочастот 2010-2025 МГц отведен для организации одного канала в режиме временного дуплекса (IMT-TC).  
Существуют сценарии, когда одна из полос остается свободной в течение некоторого промежутка времени. Технология Dual-Cell HSDPA позволяет ее задействовать в качестве дополнительного канала передачи данных.  
В стандарте 3GPP Release 9 регламентирована технология «HSPA+» (EvolvedHigh-SpeedPacketAccess), представляющая собой улучшенный вариант HSPA, в котором добавлены более сложные модуляции 16QAM (Uplink)/ 64QAM (Downlink) и технология MIMO (мультивход и мультивыход). В технологии MIMO (MultipleInputMultipleOutput) используется несколько приемных и передающих антенн, которые разнесены между собой таким образом, чтобы достичь наименьшей корреляции между соседними антеннами. В общем случае, при использовании метода MIMO поток данных пересылается одновременно, с использованием разных антенн. При этом антенны передают данные независимо друг от друга на одной и той же частоте. Таким образом реализуется несколькиопространственно разнесенных подканалов, по которым данные передаются одновременно в одном и том же частотном диапазоне.Усовершенствованная сеть HSPA+ может теоретически поддерживать до 28 Мбит/с «вверх» и до 42 Мбит/с «вниз».  
В принципе, возможно использование технологии DC-HSDPA в комбинации с технологией MIMO. Кроме того, нет категорического запрета на использование различных частот при объединении полос в технологии DC-HSDPA.Расширенные варианты технологии «HSPA+» в совокупности с методом MIMO позволяет в разы увеличить скорости передачи, как «вверх», так и вниз.

По данным [14] в конце 2010 года сети с поддержкой HSPA эксплуатировались на коммерческой основе более чем двумястами операторами в восьмидесяти странах мира. Большинство сетей 3G реализовано на базе существующих сетей 2G. В процессе выполнения этой работы был накоплен опыт, позволяющий адаптировать старые базовые станции под соответствующие технологии 3GPP. Этот факт говорит о том, что в ближайшие годы можно ожидать ускорение роста количества сетей 3G по всему миру.

Во многих странах получил распространения метод, при котором доступ к высокоскоростным сетям третьего поколения реализуются через базовые подстанции WiMax. В России этот проект с коммерческим названием YOTA в последние годы стремительно развивается.Обновление существующих сетей осуществляется в двух направлениях

- С одной стороны совершенствуются оборудование и программное обеспечение HSDPA. Параллельно происходит улучшение программно - аппаратного комплекса сетей с поддержкой HSUPA.  
В настоящее время технология модернизации существующих сетей достигла такого уровня совершенства, что примерно 70 процентов существующих сетей WCDMA можно обновить до уровня HSDPA/HSUPA на программном уровне, не меняя при этом заметно аппаратную часть.  
Большинство сетей в мире обеспечивает скорости до 7.2 Мбит/с «вниз», и реально могут быть модернизированы для поддержки скоростей 14 Мбит/с. В США, Японии и Европе практически по всей территории поддерживаются скорости 14 Мбит/с. Наибольшее число пользователей сетей 3G зарегистрировано в США. В конце 2010 года этой услугой пользовалось более 190 миллионов человек.В некоторых регионах мира поддерживаются и более высокие скорости. Например, три сетевых провайдера M1, StarHub и SingTel обеспечивают скорости до 28 Мбит/с по всему Сингапуру. Австралийский провайдер Telstra поддерживает скорости 14.4 Мбит/с в национальном масштабе и до 42 Мбит/с в некоторых крупных городах. В крупных городах Канады также поддерживается скорость 21 Мбит/с.  
В Южной Корее, глобальное общенациональное покрытие обеспечивает скорости 7.2 Мбит/с. В Гонконге операторы PCCW, CSL и Хучисон 3 реализуют скорости 21 Мбит/с, а Smartone-Vodafone обеспечивает до 28.8 Мбит/с. В Новой Зеландии по всей стране осуществлена поддержка 21 Мбит/с. В Португалии все операторы мобильной поддерживают HSDPA до 21.6 Мбит/с, а Vodafoneв некоторых крупных городах поддерживает скорости до 42 Мбит/с. Индийский провайдер MobitelPvtLtd обеспечивает 28 Мбит/с в азиатской области страны.

Объединяя различные методики и комбинируя различные технологии, можно добиться и более высоких скоростей. Так, например, существуют теоретические оценки, показывающие, что скорость передачи данных от базовой станции к абоненту «вниз» может быть увеличена до 672 Мбит/с, а скорость передачи данных от абонента «вверх» может достигать 70 Мбит/с. Насколько это верно, покажет время.Рекордсменом в области поддержки высоких скоростей является фирма Ericsson. В конце 2010 года в Стокгольме, при проведении презентации нового варианта коммерческого сетевого оборудования была зафиксирована скорость передачи данных 168 Мбит/с «вниз» и 24 Мбит/с «вверх». Правда, нужно отметить, что в качестве абонентской станции использовалось специально подготовленное, нестандартное изделие. Для достижения таких скоростей использовалась методика HSPA с несколькими несущими.При использовании коммерческого оборудования, доступного в свободной продаже, Ericsson продемонстрировал скорость «вниз» 84 Мбит/с в сети HSPA с двумя несущими.В сети с одной несущей, скорость была соответственно в два раза меньше - 42 Мбит/с. По словам представителя Ericsson, внедрение в коммерческих сетях технологии HSPA на одной несущей с пиковой скоростью 42 Мбит/с и HSPA на основе двух несущих со скоростью до 84 Мбит/с можно ожидать уже в 2011 году.В России еще в 2007 году право построения сетей мобильной связи третьего поколения получили компании, входящие в «большую тройку» российских операторов мобильной связи — «МТС», «Вымпелком» («Билайн») и «МегаФон».  
В настоящее время эти провайдеры поддерживают сети 3G практически во всех крупных городах России, а также в Кировской, Курганской, Тюменской, Свердловской, Челябинской областях, в Пермском крае, Республике Удмуртия, в Ханты-Мансийском АО, в Ямало-Ненецком АО, в Республике Коми и других областях России. Карты охвата услуги 3G можно найти на сайтах этих компаний.В основном, в России поддерживаются сети UMTS/WCDMA, соответствующие Relase 5 и поддерживающие максимальные скорости «вниз» 3.6 МГбит/с, 7.2 МГбит/с и 0.93 МГбит/с. К сожалению, точную информации о конкретных значениях поддерживаемых стандартов и скоростей, российские операторы сотовой связи, в открытом доступе, не публикуют. Однако, по запросу клиента они обязаны ее предоставлять.  
В крупных городах России существуют сети HSDPA/HSUPA с поддержкой более высоких скоростей.Так, например, оператор МТС объявил об успешном тестировании в Москве технологии DC-HSDPA, на базе сетей 3G от МТС. Увеличение скорости достигнуто за счет изменения конфигурации оборудования действующей сети МТС «HSPA+» и одновременного использования двух частот UMTS вместо одной. В итоге, скорость скачивания данных в экспериментальных сетях DC-HSDPA увеличена до 42 Мбит/c «вниз». Администрация МТС объявила, что запуск технологии DualCarrier HSDPA в коммерческую эксплуатацию на сети МТС в Москве начнется с апреля 2011 года. До конца 2011 года в Москве данную технологию будут поддерживать все базовые станции МТС 3G Indoor.

**3.ТЕХНОЛОГИЯ WIMAX**

В 2005 году появилась спецификация 802.16e [21], описывающая мобильныйWiMAX. Понятие «мобильность» относят к двум категориям абонентов - к так называемым номадическим («кочующим») и к подвижным.

Номадические абоненты могут пере­мещаться в пределах действия сети, но в момент сеансов связи они находятся в зоне одного и того же сегмента базовой станции. Подвижные абоненты должны иметь доступ к сети непосред­ственно в процессе движения. Технология работает в диапазоне частот 2-6 ГГц. Наиболее удобные для обеспечения мобильности частоты 2,5-2,7 ГГц. В России, в настоящее время, выданы разрешения на полосы частот в диапазоне 2,5 ГГц [1] в соответствии с таблицей 3.1.

**Таблица 3.1–Разрешенные полосы частот мобильногоWiMAX в России**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Диапазон частот, ГГц | Разрешенные полосы частот, МГц | Общая ширина выделенных полос, МГц | Сертифицированный профиль WiMAX |
| 2,5 | 2500-2530  2620-2630  2660-2670  2680-2690 | 70 | 3А |

В данном разделе кратко рассмотрим основные моменты стандарта IEEE 802.16e необходимые для построения сетей городского масштаба в диапазоне до 6 ГГц, точнее, их физический уровень и MAC-уровни. Проведен сравнительный анализ основных конкурентов технологии WiMAX.

## 3.1 СтандартIEEE 802.16e

Стандарт IEEE 802.16e - это набор исправлений существующего стандарта 802.16-2004 и дополнения «Физический и МАС-уровни для совместной мобильной и фикси­рованной работы в лицензируемых диапазонах» [7].

Помимо собственно мобильности особое внимание IEЕЕ 802.16е уделяет про­блемам качества предоставляемых услуг (QoS (QualityofService)).

В сетях WiMAX определены 5 классов услуг, определяющих уровни временных приоритетов данных [4]:

* класс услуг передачи данных с постоянной скоростью (UnsolicitedGrantService - UGS);
* класс услуг передачи данных в реальном времени с опросом на передачу (Thereal-timepollingservices (rtPS));
* класс услуг передачи данных без поддержки реального масштаба времени с опросом на передачу (Thenon-real-timepollingservices (nrtPS));
* класс услуг передачи данных без гарантий требуемого качества ( «по возможности» - thebest-effortservice (BE);
* расширенный класс услуг передачи данных в реальном времени с опросом на передачу (theextendedreal-timepollingservice (ertPS)).

Более подробное описание классов услуг передачи данных приведено в таблице А.1.

Требования к параметрам качества функционирования для различных классов услуг в сети WiMAX приведены в таблице А.2 и они являются определяющими для параметров QoS.

Кроме того, мобильность автоматически подразумевает усложнение сетевой архитектуры [1]. Мобильная абонентская станция (МС) должна знать свое окружение, общаться одновременно с несколькими БС, пе­реключаться с одной на другую. Эти требования обусловили появление в стандарте IEЕЕ 802.16е понятий «сервисной БС» и «соседней БС» [11]. Сервисная БС для определенной МС — это базовая станция, на которой МС последний раз выполнила процедуру регистрации, при начальном вхождении в сеть или при хэндовере. Соседняя БС — это базовая станция, отличная от сервисной, трансляцию с ко­торой (нисходящий поток) способна принять МС.

Процедура хэндовера [11] включает несколько стадий:

* выбор ячейки (на основе непосредственного сканирования или ассоцииро­вания);
* решение о начале хэндовера и инициация этой процедуры;
* синхронизация с выбранной БС;
* установление соединения (регистрация);
* разрыв соединения с предыдущей сервисной БС.

Завершение хэндовера МС подтверждает специальным сообщением. МС мо­жет прервать процедуру хэндовера в любой момент до отправки финального сообщения. Решение о начале процедуры хэндовера способна при­нять МС, сервисная БС или система управления сетью.

Основные изменения на физическом уровне [10] в документе IEEE 802.16e коснулись режима множественного доступа посредством разделения ортогональных несущих (OFDMА) как наиболее эф­фективного для мобильного доступа. В стандарте IEEE 802.16e появился режим масштабируемого множественного доступа посредством разделения ортогональных несущих (S-OFDMA). Он по­зволяет использовать 2048, 1024, 512 и 128 номинальныхподнесущих. Параметры S-OFDMA перечислены в таблице 2.2.

Принцип S-OFDMA позволяет работать в полосах частот различной ширины. Очевидно, чем уже полоса, тем меньше расстояние между номинальнымиподнесущимиOFDMA. Соответственно уменьшается и допустимая скорость модуля­ции каждой из них. Изменяя число поднесущих пропорционально полосе, можно обеспечить инвариантность относительно ширины рабочей полосы таких ключевых параметров, как длительность OFDM-символа и расстояние между поднесущими.

Стандарт IEEE 802.16e описывает три способа распределения несущих:

* режим FUCS: полное использование подканалов передатчиком БС;
* режим РUCS: использование группы подканалов передатчиком БС, но не менее 12 подканалов;
* режим AMC (Adaptive Modulation and Coding). Взависимостиотуровнясигнала (RSSI — Received signal strength indication) иуровняшума (CINR — Carrier to Interference + Noise Ratio) выбираетсячислочленоврядаФурье, соответственноимодуляция: QPSK, 16QAM, 64QAM. Чем лучше сигнал, тем выбирается более высокопроизводительная схема модуляции, тем выше скорость передачи данных. Так же выбирается кодирование и защитный интервал.

Комбинации различных модуляций и методов кодирования обеспечивают разнообразие скоростей передачи данных как показано в таблице 3.2, в которой изображены скорости передачи данных с шириной каналов 5 и 10 МГц в режиме PUSC.

**Таблица 3.2. – Скорости DL/UL (восходящих/нисходящих) каналов при различных видах модуляции и кодирования в режиме PUSC [14]**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Модуляция | Метод кодирование | Ширина канала 5 МГц | | Ширина канала 10 МГц | |
| DL, Мбит/с | UL, Мбит/с | DL, Мбит/с | UL, Мбит/с |
| QPSK | 1/2 CTC, x6 | 0,53 | 0,38 | 1,06 | 0,78 |
| 1/2 CTC, x4 | 0,79 | 0,57 | 1,58 | 1,18 |
| 1/2 CTC, x2 | 1,58 | 1,14 | 3,17 | 2,35 |
| 1/2 CTC, x1 | 3,17 | 2,28 | 6,34 | 4,70 |
| 3/4 CTC | 4,75 | 3,43 | 9,50 | 7,06 |
| 16QAM | 1/2 CTC | 6,34 | 4,57 | 12,67 | 9,41 |
| 3/4 CTC | 9,50 | 6,58 | 19,01 | 14,11 |
| 64QAM | 1/2 CTC | 9,50 | 6,58 | 19,01 | 14,11 |
| 2/3 CTC | 12,67 | 9,14 | 25,34 | 18,82 |
| 3/4 CTC | 14,26 | 10,28 | 28,51 | 21,17 |
| 5/6 CTC | 15,84 | 11,42 | 31,68 | 23,52 |

Особое внимание в допущениях IEEE 802,16е уделено системам MIMO (MultipleInputMultipleOutput) — как в режимах пространственно-временного кодирования (STC), так и для адаптивных антенных систем (AAS).

AAS – это системы с секторными направленными антеннами, т.е. антенные системы с несколькими антенными элементами. Применение AAS существенно увеличивает потенциальную емкость сети. Кроме того, направленные антенные системы позволяют снизить общую излучаемую мощность.

Идея метода пространственно-временного кодирования заключается в том, чтобы разнести пространственно и во времени, источник одного и того же сигнала. В стандарте IEEE 802.16e используется схема STC по алгоритму Аламоути [13]. В таблице 3.3. приведем типовые параметры БС со стандартной антенной системой и при использовании MIMO и AAS.

**Таблица 3.3 Параметры БС [18]**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Стандартная БС | БС с MIMO 2x2 | БС с MIMO 2x2 и AAS |
| DLTx | 35 дБм | 35 дБм | 35 дБм |
| DL\_Tx\_ант\_усиление | 16 dBi | 16 dBi | 16 dBi |
| Другие\_DL\_Tx\_усиление | 0 дБ | 9 дБ | 15 дБ |
| DL\_Rx\_ант\_усиление | 16 dBi | 16 dBi | 16 dBi |
| Другие\_UL\_Rx\_усиление | 0 дБ | 3 дБ | 6 дБ |

**3.2. СравнениеWIMAXс другими технологиями**

Данное сравнение составлено по материалам WiMAXForum. Сравнение основано на доступных сведениях, экспериментально не проверены.

Системы с технологией HSPA (HighSpeedPacketAccess) (3GPP релиз 6) предусматривают частотноедуплексирование (FDD) с шириной каждого дуплексного канала 5 МГц. В нисходящем канале используется модуляция QPSK либо 16-QAM, двойное пространственное разнесение на приеме (1х2 SIMO), пиковая скорость 14 Мбит/с. В восходящем канале используется модуляция BPSK либо QPSK, антенная конфигурация 1х2 SIMO пиковая скорость 5,8 Мбит/с. В то же время на рынке были системы WiMAX (релиз 1.0) с временным дуплексированием (TDD). При аналогичной ширине полосы 10 МГц они обеспечивали скорость в нисходящем канале в 2-3 раза более высокую, чем у HSPA (поскольку в WiMAX при TDD общая пропускная способность динамически распределяется между восходящими и нисходящими каналами) [1].

**Таблица 3.4. Сравнение систем HSPA+ и WiMAX [1]**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметры | HSPA | | | | WiMAX | |
| Версия | Релиз 7 | | | Релиз 8 | Релиз 1,5 | |
| Диапазон, ГГц | 2,0 | | | | 2,5 | |
| Дуплексирование | FDD | | | | FDD | TDD |
| Ширина канала, МГц | 2x5 | | | | 2x5 | 10 |
| Антенны БС | 1x2 | | 2x2 | | 2x2 | |
| Антенны АС | 1x2 | | | | 1x2 | |
| Модуляция и скорость кодирования | | | | | | |
| В нисходящем канале | 64-QAM, 5/6 | 16-QAM, 3/4 | | 64-QAM, 5/6 | 64-QAM, 5/6 | |
| В восходящем канале | 16-QAM, 3/4 | | | | 64-QAM, 5/6 | |
| Пиковая скорость, Мбит/с | | | | | | |
| В нисходящем канале | 17,5 | 21 | | 35 | 36 | 48 |
| В восходящем канале | 8,3 | 8,3 | | 8,3 | 17 | 24 |

Следующим шагом в эволюции системы HSPA являются технологии HSPA+ (релиз 7 и 8).Частотноедуплексирование (FDD) с шириной каждого канала (приема и передачи) 5 МГц, как в релизе 6. HSPA релиз 7 имеет на линии от базы 64QAM с (1x2) SIMO или 16QAM с (2x2) MIMO, а на линии к базе 16QAM и лучшие возможности для VoIP. HSPA релиз 8 поддерживает для линии от базы MIMO и 64QAM, рассматривается возможность использования MIMO больших порядков для линии от базы и MIMO для линии к базе [1]. Основные характеристики систем приведены в таблице 5.

Сравнивая мобильныйWiMAX и HSPA+, можно сделать выводы:

* Мобильный WiMAX, релиз 1.5 имеет сравнимые с HSPA, релиз 8, пиковые скорости при одинаковых модуляции, кодировании и ширине канала на линии от базы. При этом у мобильного WiMAX на линии к базе более, чем в два раза больше пиковая скорость;
* HSPA+ ограничено шириной канала 2 x 5 МГц в традиционных спектральных условиях сетей 3G;
* мобильный WiMAX релиз 1.5 поддерживает ширину канала до 20 МГц, дуплексирование и FDD, и TDD, и частотные профили планируются в диапазонах 700, 1700, 2300, 2500, и 3500 МГц;
* мобильныйWiMAX обеспечивает «гладкую» полностью IP e2e сеть.

Следующим шагом в эволюции системы 3GPP являются системы LTE (LongTermEvolution). Их отличает технология OFDMA в нисходящем канале и SC-OFDMA в восходящем канале.OFDMA на линии от базы с модуляцией 64QAM. Это полностью IP e2e сеть.

Ширина канала до 20 МГц. Возможность использования профиля TDD и FDD профиля. Гибкая сеть доступа. Улучшая техника антенн. В системе LTE планируются технологии и методы, уже используемые в мобильномWiMAX, поэтому следует ожидать похожей эффективности [19]. В таблице 6 отобразжены реальные параметры систем LTE и мобильногоWiMAX в одинаковых частотных условиях.

LTE представляет переход от систем CDMA к системам OFDMA, а также переход от системы с коммутацией каналов к системе e2e IP (коммутации пакетов). Системы LTE также требуют нового спектра для получения преимущества от широкого канала и требуют двухрежимных абонентских устройств для плавного перехода абонентов от старых к новым сетям [19].

**Таблица 3.5.Сравнение реальных параметров систем LTE (по отчетам производителей) и мобильного WiMAX в одинаковых частотных условиях при FDD с полосами 2x20 МГц [1]**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметры | LTE | | | | WiMAX  Релиз 1,5 | |
| Motorola | | T-mobile | Qualcomm |
| Нисходящий канал | | | | | | |
| Антенны БС | 2x2 | 4x4 | 2x4 | 4x2 | 2x2 | 4x4 |
| Модуляция и скорость кодирования | 64-QAM, 5/6 | | 64-QAM, 5/6 | 64-QAM, нет данных | 64-QAM, 5/6 | |
| Скорость, Мбит/с | 117 | 226 | 144 | 277 | 144,6 | 289 |
| Восходящий канал | | | | | | |
| Антенны АС | Нет данных | | 1x2 | 1x2 | 1x2 | |
| Модуляция и скорость кодирования | 64-QAM | 16-QAM | 64-QAM, 5/6 | |
| Скорость, Мбит/с | 50,4 | 75 | 69,1 | |

Преимущество в спектральной эффективности означает выигрыш в стоимости развертывания сети (в том числе удельной стоимости по отношению к пропускной способности сети). В таблице 3.6 приведены ключевые параметры систем.

WiMAX представляет IP-сеть, сеть LTE более сложная (включает большее количество протоколов, в том числе проприетарные (закрытые) протоколы GSM).

Сравнивая мобильныйWiMAX и LTE, можно сделать выводы:

* мобильныйWiMAX rel.1.5 и LTE имеют похожие характеристики. В обоих на линии от базовой станции используется OFDMA с многоуровневой модуляцией и кодированием. Пиковые скорости практически одинаковы при одинаковых кратностях модуляции и скоростях корректирующего кода. В обоих используется FDD и TDD дуплексирование при ширине канала до 20 МГц. В обоих используется MIMO большей кратности и уменьшение задержки;
* мобильный WiMAX имеет двухлетний выигрыш по времени выхода на рынок и гладкую e2e архитектуру сети;
* пропускная способность и спектральная эффективность мобильногоWiMAX в релизе 2.0 имеет лучшие параметры, нежели LTE;
* мобильныйWiMAX rel.2.0 совместим с релизами 1.0 и 1.5;
* инвестиции для преобразования сетей из 2G/3G в LTE и мобильныйWiMAX примерно одинаковы;
* для построения обеих сетей требуется выделение частотного спектра, а также многорежимные абонентские устройства.

**Таблица 3.6. Сравнение ключевых параметров LTE и WiMAX [1]**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметры | LTE | WiMAX Релиз 1,5 |
| Дуплексирование | FDD и TDD | FDD и TDD |
| Частотный диапазон для анализа | 2000 МГц | 2500 МГц |
| Ширина канала | до 20 МГц | до 20 МГц |

**Продолжение таблицы 3.6**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| От базы | OFDMA | OFDMA |
| К базе | SC-OFDMA | OFDMA |
| Спектральная эффективность , бит/Гц/с | | |
| Нисходящий канал, MIMO (2x2) | 1,57 | 1,59 |
| Восходящий канал, SIMO (1x2) | 0,64 | 0,99 |
| Максимальная скорость абонентской станции, км/ч | 350 | 120 |
| Антенные системы | | |
| Нисходящий канал | 2x2, 2x4, 4x2, 4x4 | 2x2, 2x4, 4x2, 4x4 |
| Восходящий канал | 1x2, 1x4, 2x2, 2x4 | 1x2, 1x4, 2x2, 2x4 |

Анализ приведенных выше данных позволяет сделать выводо том , что в настоящее время экономически более целесообразно использование для решения поставленной задачи технологии HSPA+. Если отойти от вопросов выделения частотного ресурса и лицензирования и ориентироваться только на технические характеристики сети то наиболее перспективным вариантом построения будет использование технологии LTE, как преемственной по использованию оборудования сотовой связи.

**Библиографический список**

1. Вишневский, В., Портной, С., Шахнович, И. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / В. Вишневский, С. Портной, И. Шахнович – Москва: Техносфера, 2009. – 472 с. :ил
2. Ефанов, А.В. Развитие телекоммуникационного рынка и проблемы совершенствования его регулирования в России: Автореф. дис. … д-ра экон. наук / Александр ВладимировичЕфанов. - Москва, 2008. – с.31-37.
3. Непомнящий, Е.Г. Инвестиционное проектирование: Учебное пособие / Е.Г. Непомнящий – Таганрог: ТРТУ. – 2003. – 262с.
4. Тихвинский, В. О., Терентьев, С. В. Оценка параметров качества услуг в сетях WIMAX/ В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев // «Телеком /Сети и средства связи»- Специальный выпуск «Сети доступа». – 2007. – №5-6. – с.86-93.
5. Клюс, М.В. Опорные сети для технологии WiMAX / М.В. Клюс // «Вестник связи». – 2008. – №7. – с.43-45.
6. Сюваткин, В.С., Есипенко, В.И., Сухоребров, В.Г. и др. WiMAX- технология беспроводной связи: теоретические основы, стандарты, применение / Под ред. В.В. Крылова. – Спб.: БХВ-Петербург, 2005. - 386с.:ил
7. Сети Ethernet. 3 часть. MetroEthernet./Бителева А. // Теле-Спутник. – 2008. – №7. – с. 98.
8. Сети Ethernet. 4 часть. Транспортные технологии опорных сетей/ Бителева А. // Теле-Спутник. – 2008. – №7. – с. 103.
9. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендэ, 2001. – 267 с.:ил
10. Широкополосная мобильность: IEEE 802.16е. Часть 1: МАС-уровень./ Шахнович И. // ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ. – 2007. – №2. – с.18–27.
11. Широкополосная мобильность: IEEE 802.16е. Часть 2: физический уровень и элементная база./ Шахнович И.// ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ. – 2008. – №1. – с.98–104.
12. Шмалько А.В. Цифровые сети связи. Основы планирования и построения. – М.: Эко-Трендэ, 2001. – 282 с. :ил
13. Манассевич, В. Синтезаторы частот. Теория и проектирование / Вадим Манассевич; перевод с англ. А. С. Галина. – М. : Связь, 1979. – 384 с.
14. Шапиро, Д. Н. Основы теории синтеза частот / Д. Н. Шапиро. – М. : Радио и связь, 1981. – 264 с.
15. Ридико, Л. А. Цифровой синтез частоты / Л. А. Ридико // Компоненты и технологии.-2001.-№7.- С 50-55.
16. Рыжков, А. В. Синтезаторы частот в технике радиосвязи / А. В. Рыжков. – М. : Радио и связь, 1991. – 298 .
17. Шахгильдян, В. В. Системы фазовой автоподстройки частоты / В. В. Шахгильдян. – М. : Радио и связь, 1972. – 447 с.
18. Микропроцессоры и микроконтроллеры фирмы SiLabs : учеб. пособие для студентов / И. И. Шагурин. – М. : Радио и связь, 2002. – 560 с.
19. Jeffrey G. Andrews, ArunabhaGhosh, RiasMuhamed, Fundamentals of WiMAX: understanding broadband wireless networking, 2008.
20. Kwang-Cheng Chen, J. Roberto B. de Marca, Mobile WiMAX, 2008.
21. Syed Ahson, Mohammad Ilyas, WiMAX: standards and security, CRC Press, 2008.
22. Upase, B., M. Hunukumbure, S. Vadgama, Radio Network Dimensioning and Planning for WiMAX Networks, Fujitsu Sci. Tech., 2007.
23. Yan Zhang, WiMAX Network Planning and Optimization, СRС Press, 2008.
24. Zerihun Abate, WiMAX RF systems Engineering, Artech House, 2009.
25. WiMAX Forum. Mobile WiMAX—Part 1: A technical overview and performance evaluation. June 2006.
26. WiMAX Forum Network Architecture. Release 1, version 1.2 – WiMAX Forum, January 11, 2008.
27. IEEE. Standard 802.16e-2005, Part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems.
28. Клаус Даниэль. WiMAX 802.16E: Подходы к качественному улучшению рабочих характеристик систем мобильного широкополосного доступа стандарта 802.16Е.// MForum.ru: Мобильный форум. 2007. – URL: <http://www.mforum.ru/news/article/058869.htm> (Дата обращения: 23.03.2012)
29. Построение мультисервисных сетей операторов связи на базе технологии MetroEthernet // uni.ru: Корпорация Юни. 2009. – URL: <http://www.uni.ru/solutions.php?action=show&id=13> (Дата обращения: 26.03.2012)
30. Семериков А. Российский региональный рынок ШПД по-прежнему сильно отличается от столичного, но уже делает первые шаги на пути к насыщению // telecom-expert.ru: Телеком-Эксперт. – Дата обновления: 09.07.2009. URL: <http://www.telecom-expert.ru/print.php?r=4&id=59> (Дата обращения: 26.03.2012)
31. Справочник по WiMAX //wimaxhandbook.ru: Персональный сайт. – Дата обновления: 27.01.2010. URL: <http://www.wimaxhandbook.ru/> (Дата обращения: 2.04.2012)
32. Народная энциклопедия городов и регионов России // [www.mojgorod.ru](http://www.mojgorod.ru): «Мой Город». Сайт Сергея Солдатова, Натальи Солдатовой, Валерия Солдатова. 2000-2010. URL: http://www.mojgorod.ru/vladimir\_obl/vladimir/ (Дата обращения: 12.04.2012)
33. Стандарт IEEE 802.3z - GigabitEthernet // URL: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3-2002.pdf> (Дата обращения: 22.04.2012)