

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет телекоммуникаций

Кафедра систем телекоммуникаций

В. Н. Мищенко

СЕТИ РАДИОДОСТУПА СИСТЕМ СОТОВОЙ РАДИОСВЯЗИ С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

*Рекомендовано УМО по образованию в области информатики
и радиоэлектроники для направлений специальности 1-45 01 01-01
«Инфокоммуникационные технологии (системы телекоммуникаций)»,
1-45 01 01-03 «Инфокоммуникационные технологии (системы
телекоммуникаций специального назначения)», 1-45 01 01-04
«Инфокоммуникационные технологии (цифровое теле- и радиовещание)»
в качестве учебно-методического пособия*

Минск БГУИР 2016

УДК 621.396.2(076)

ББК 32.884.1я73

М71

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра связи учреждения образования
«Военная академия Республики Беларусь»
(протокол №11 от 15.02.2016);

заведующий кафедрой телекоммуникационных систем
учреждения образования
«Белорусская государственная академия связи»,
кандидат технических наук, доцент С. И. Половения

Мищенко, В. Н.

М71 Сети радиодоступа систем сотовой радиосвязи с кодовым разделением каналов : учеб.-метод. пособие / В. Н. Мищенко. – Минск : БГУИР, 2016. – 64 с., [2] л. цв. ил.
ISBN 978-985-543-251-8.

Рассматриваются вопросы, связанные с построением и проектированием сетей радиодоступа систем сотовой радиосвязи с кодовым разделением каналов.

Предназначено для студентов и курсантов, изучающих дисциплину «Системы подвижной радиосвязи и радиоопределения», всех форм обучения.

УДК 621.396.2(076)

ББК 32.884.1я73

ISBN 978-985-543-251-8

© Мищенко В. Н., 2016

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2016

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. АРХИТЕКТУРА И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ.....	5
1.1. Принципы использования широкополосных сигналов в системах радиосвязи.....	5
1.2. Системы мобильной связи третьего поколения.....	10
1.3. Особенности построения сетей радиодоступа стандарта UMTS/FDD... ..	13
1.3.1. Общая характеристика и основные параметры стандарта UMTS/FDD.....	13
1.3.2. Базовая станция сотовой сети. Структурная схема, назначение, основные характеристики и параметры.....	22
1.3.3. Контроллер базовых станций. Структурная схема, назначение, основные характеристики.....	26
2. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СОТОВОЙ СЕТИ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА UMTS.....	28
2.1. Основные особенности планирования радиосети WCDMA	28
2.2. Определение территории обслуживания сети, ресурсов радиоканала и эффективности зоны обслуживания.....	29
2.3. Основные этапы расчета радиосети UMTS.....	30
2.4. Расчет бюджета радиолиний системы WCDMA.....	31
2.5. Расчет предельной емкости соты.....	43
2.6. Варианты заданий для выполнения контрольных работ.....	49
2.6.1. Определение потерь при распространении радиосигналов.....	49
2.6.2. Определение пропускной способности	51
3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЧАСТОТНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ.....	53
3.1. Развитие средств радиопланирования и основные задачи, решаемые программными комплексами.....	53
3.2. Архитектура и основные особенности системы Mentum Planet.....	54
3.3. Моделирование условий распространения радиоволн.....	55
3.4. Анализ работы сети и моделирование нагрузки при частотно-территориальном планировании.....	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	61
ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....	62
ЛИТЕРАТУРА.....	63

ВВЕДЕНИЕ

В учебно-методическом пособии рассмотрены особенности построения и проектирования сетей радиодоступа для систем сотовой радиосвязи с кодовым разделением каналов стандарта UMTS. Системы сотовой связи третьего поколения стандарта UMTS позволяют передавать сообщения с высокой скоростью, обладают большей спектральной эффективностью, чем предыдущие системы мобильной связи второго поколения. С внедрением данного стандарта появилась возможность предоставить абонентам мультимедийные широкополосные услуги и услуги видеовызова, организовать высокоскоростную передачу данных.

В первом разделе рассмотрены основные принципы формирования и использования широкополосных сигналов в системах радиосвязи. Проанализированы особенности построения сетей радиодоступа стандарта UMTS с вариантом частотного разделения (версия FDD). Рассмотрено оборудование базовой станции сотовой сети. Описаны структурные схемы блока коммутации и распределения, приемопередатчика и блока сложения и разделения, входящих в состав базовой станции. Анализируется назначение этих блоков, их основные характеристики и параметры. Одним из наиболее важных элементов сетей радиодоступа является контроллер базовых станций. Приведена его структурная схема, рассмотрено назначение и основные характеристики.

Во втором разделе представлена методика расчета основных параметров сетей радиодоступа для систем сотовой радиосвязи стандарта UMTS. Рассмотрена методика расчета максимально допустимых потерь для нисходящего и восходящего каналов при разных скоростях передачи. Выполнен анализ факторов, которые определяют величину максимальной дальности до границ ячейки. Рассмотрены параметры и факторы, определяющие величину предельной емкости соты при обслуживании абонентов.

В третьем разделе приведено описание автоматизированных программных комплексов, которые используются для частотно-территориального планирования сетей подвижной радиосвязи. Описаны основные этапы расчета радиосетей стандарта UMTS. Представлены и описаны особенности определения территории обслуживания сети, ресурсов радиоканала и эффективности работы зон обслуживания. Анализируются методики расчета бюджета радиолиний и предельной емкости соты для стандарта UMTS/FDD. Представлены результаты частотно-территориального планирования сети сотовой радиосвязи одного из населенных пунктов Республики Беларусь с использованием программного комплекса планирования Mentum Planet.

1. АРХИТЕКТУРА И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

1.1. Принципы использования широкополосных сигналов в системах радиосвязи

Первый стандарт систем сотовой мобильной связи (ССМС) на основе принципа кодового разделения каналов CDMA (CDMA – Code Division Multiple Access) был разработан в США фирмой Qualcomm, возглавляемой А. Витерби, получивший название IS-95 (Interim Standart 95). Альтернативное название стандарта – CDMAone. Параллельно был разработан целый пакет таких стандартов, который позволил определить и реализовать построение аппаратуры не только мобильных станций (сотовых телефонов), но и базовых станций, центров коммутации подвижной связи и т. д. Стандарт IS-95 определяет построение радиоинтерфейса на основе CDMA, а также существуют другие стандарты: IS-96 – речевая служба; IS-97 – построение подвижной станции; IS-99 – служба передачи данных и т. д. Практическое применение этого стандарта началось 26 сентября 1995 г. в Гонконге фирмой Hutchison Telephone, когда была открыта эксплуатация первой цифровой ССМС с CDMA. Затем аналогичные сети появились в США, Южной Корее и других странах. Стандарт CDMA работал и в нашей стране с 2003 по 2014 г., его поддерживала фирма ООО СП «БелСел». Дальнейшее развитие технологии CDMA нашли в развитии ССМС третьего поколения: стандарты CDMA2000, WCDMA (Wide CDMA – широкополосные CDMA). К сетям стандарта CDMA относятся беспроводные сети доступа к локальным сетям, работающим по спецификации G 802.10 (сети WLAN).

Один из главных моментов в технологии CDMA связан с использованием так называемых широкополосных сигналов (ШПС), полоса которых значительно превышает полосу частот, необходимую для обычной передачи сообщений в системах с частотным разделением каналов. Основной характеристикой ШПС является параметр, который называется базой сигнала: $B = F \cdot T$, где F – ширина спектра; T – длительность символа при цифровой передаче [13]. Для обычных стандартов, в том числе и для стандарта GSM, величина $B = 1$. Для широкополосных систем $B \gg 1$. Широкополосные системы изначально разрабатывались для военных целей, а затем получили распространение и в обычных системах. Расширение спектра в подобных системах может быть реализовано двумя способами: 1) прямое расширение (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum); 2) расширение спектра при скачкообразном изменении несущей частоты (FHSS – Frequency-Hopping Spread Spectrum). В первом варианте информационное сообщение манипулирует псевдослучайной последовательностью (ПСП), состоящей из элементов (циклов) длительностью T_c , причем длительность одного элемента (цикла) намного (в N раз) меньше длительности T_b передаваемого информационного бита или символа (посылки) (рис. 1.1).

Величина N непосредственно характеризует степень расширения полосы по сравнению с полосой первичного сообщения и поэтому называется коэффициентом расширения спектра.



Рис. 1.1. Принцип получения сигналов с расширенным спектром

При передаче информационные сигналы $D_k(t)$ в виде цифровых последовательностей умножаются на расширяющую кодовую последовательность $C_k(t)$ (рис. 1.2).

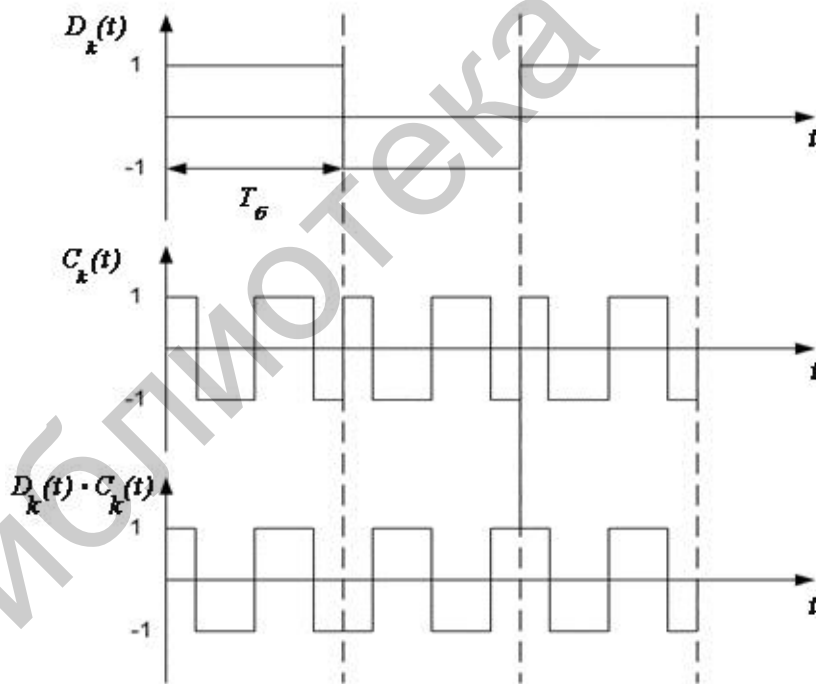


Рис. 1.2. Особенности получения сигналов с расширенным спектром

Результат работы схемы очевиден: если информационная последовательность $D_k(t)$ имеет положительную полярность, то на выходе перемножителя присутствует исходная (первоначальная) версия ПСП. При передаче посылки противоположной полярностью -1 полярность ПСП меняется на противоположную. Далее сигнал после перемножителя подается на

модулятор, например, бинарной фазовой модуляции (БФМ) или квадратурной фазовой модуляции (КФМ), обрабатывается, передается в выходные каскады и излучается в пространство с использованием антенны. Упрощенная структурная схема передающего тракта системы с кодовым разделением каналов представлена на рис. 1.3 [8, 13].

В существующих и разрабатываемых на перспективу системах сотовой связи преимущественно применяется прямое расширение спектра, реализуемое либо в синхронном, либо в асинхронном варианте.



Рис. 1.3. Структурная схема передающего тракта системы с кодовым разделением каналов

Различия этих двух модификаций DSSS весьма значительны. Первая может применяться тогда, когда есть возможность синхронизировать между собой все индивидуальные адресные последовательности (сигнатуры), присвоенные отдельным абонентам, чтобы на приемной стороне сигналы не имели взаимных временных сдвигов. Подобная ситуация имеет место на линии связи «Вниз» (от БС к МС). В обратном направлении обеспечение синхронизма сигналов разных МС, принимаемых БС, довольно затруднительно и требует применения асинхронной версии DSSS.

При использовании второго способа расширения спектра каждый символ информационного сообщения должен передаваться с помощью набора дискретных частот, задаваемого определенной последовательностью (способ скачкообразной перестройки частоты – FHSS) (рис. 1.4). При этом способе происходит скачкообразное изменение частоты несущей, осуществляемое, как правило, за счет быстрой перестройки выходной частоты синтезатора в соответствии с законом формирования ПСП.

Прием ШПС осуществляется оптимальным приемником (рис. 1.5), который для сигнала с полностью известными параметрами вычисляет корреляционный интеграл [13]:

$$z = \int_0^T x(t) \cdot u(t) dt, \quad (1.1)$$

где $x(t)$ – входной сигнал, представляющий сумму полезного сигнала $U(t)$ и помехи $h(t)$.

Коррелятор осуществляет сжатие спектра широкополосного входного сигнала путем умножения его на эталонную копию $U(t)$, далее располагается интегратор. Полученное после интегрирования значение сигнала z сравнивается с пороговой величиной z_0 .



Рис. 1.4. Принцип получения сигналов с расширенным спектром при использовании скачкообразной перестройки частоты

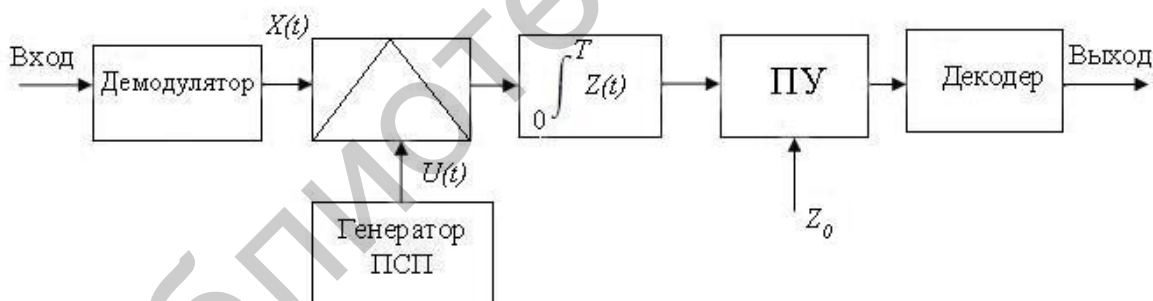


Рис. 1.5. Структурная схема приемного тракта системы с кодовым разделением каналов

Корреляционный интеграл определяется как [13]

$$R_{ij}(t) = \frac{1}{N} \int_{-\infty}^{\infty} U_i(t) \cdot U_j(t) \neq 0. \quad (1.2)$$

Для любых $i \neq j$ он должен быть равен 0 при выполнении свойств ортогональности, а для $i = j$ величина $R_{ij}(t)$ не равна 0, что и позволяет вести прием сигналов.

Важное значение для формирования ШПС в системах подвижной связи играет выбор вида ПСП, который определяет взаимные и автокорреляционные характеристики ансамбля сигналов. В качестве ШПС могут использоваться коды Баркера, Уолша, М-последовательностей и т. д. Основными требованиями к таким последовательностям являются:

- 1) псевдослучайность (статистическое распределение);
- 2) сбалансированность (количество 1 примерно равно количеству 0);
- 3) цикличность (особенности формирования);
- 4) оптимальность (в плане формы и характеристик корреляционной функции).

Наибольшее распространение в системах сотовой связи получили функции Уолша, которые обладают рядом важных достоинств, среди которых отмечается удобство генерирования, хорошие свойства корреляционных функций и т. д.

Для приема сигналов с кодовым разделением каналов используется известная схема Rake-приемника, представленная на рис. 1.6. Входной сигнал подается параллельно на несколько корреляционных приемников, а также на элементы задержки сигнала, обозначенные символами Т.

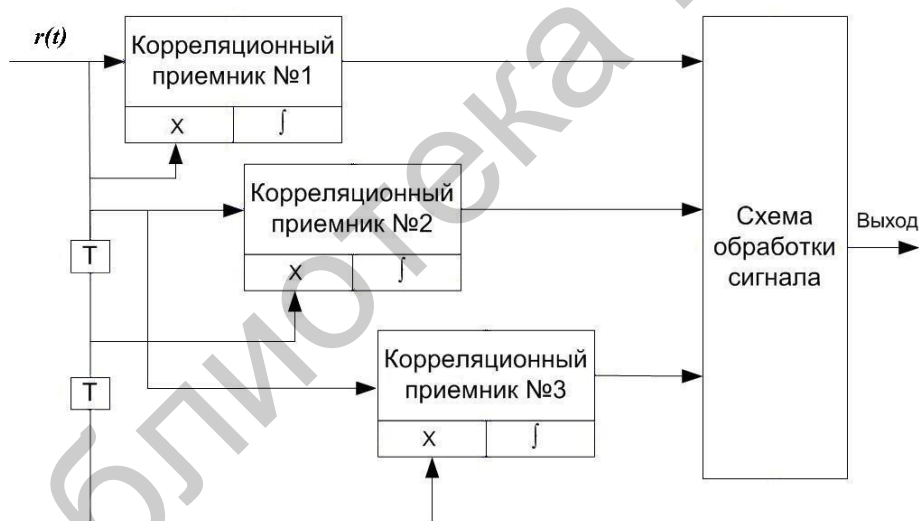


Рис. 1.6. Структурная схема Rake-приемника

Название этой схемы связано с формой корреляционной функции, которая при использовании функций Уолша и ряда других функций имеет форму повторяющихся участков с увеличенными значениями корреляционного интеграла, которые напоминают по внешнему виду обычные грабли (на английском это слово пишется rake). Общее количество корреляционных приемников обычно выбирают небольшим. Так, для стандарта IS-95 количество корреляционных приемников для сотовых телефонов принимается равным трем, а для базовых станций – четырем. Элементы, обозначенные буквой Т, являются элементами задержки на определенное время, которое определяется

характеристиками используемого стандарта. В качестве схемы обработки сигнала используются сумматоры или другие устройства обработки.

1.2. Системы мобильной связи третьего поколения

Системы второго поколения (GSM, D-AMPS, PDC/JDC) воплотили многие потенциальные преимущества цифровой передачи сообщений: эффективная компрессия данных, помехоустойчивое кодирование, простота реконфигурирования, технологичность и стабильность аппаратных средств и т. д. Однако в ходе стремительного развития коммерческих сетей мобильных телекоммуникаций довольно быстро стало очевидным, что потенциальный спектр предоставляемых ими услуг может простирается далеко за рамки первоначального назначения – беспроводного телефонного сервиса. Среди экспертов в области информационного маркетинга на определенном этапе утвердилось убеждение, что транснациональные электронные гиганты могут не выжить в телекоммуникационном секторе бизнеса, если не выступят со стратегическими инициативами, существенно раздвигающими горизонты сетей мобильной связи. Огромным стимулирующим фактором при этом явилось взрывное развитие Интернета и охват им невиданной по своим масштабам аудитории. В итоге мобильные системы связи XXI века стали рассматриваться как универсальные сети, обеспечивающие высокоскоростной информационный обмен с потребителем, не ограничивая свободы перемещения последнего и поддерживая в любой географической точке Земли качество услуг на уровне того, которое могло бы быть предоставлено любой самой продвинутой стационарной сетью транспортировки информации (ISDN, LAN и пр.). При этом формат передаваемых данных может быть самым разнообразным: обычный телефонный разговор, компьютерные файлы, факсимильные, мультимедийные и аудиовизуальные сообщения, интернет-пакеты, электронная почта и др.

Нетрудно понять, что в рамках стандартов второго поколения подобная программа не представляется осуществимой в первую очередь из-за низких скоростей передачи данных. Спецификация GSM, например, предусматривает скорости 9,6 или 14,4 кбит/с, в то время как для передачи мультимедийных данных требуются многократно большие скорости.

Отметим, что сообществом GSM предприняты активные шаги в направлении приближения стандарта к новым реалиям. Соответствующие предложения часто упоминают как «поколение 2,5» (2,5G), характеризующееся тремя основными дополнениями к базовому стандарту [5, 7, 8]. Первое, обозначаемое аббревиатурой HSCSD (High-Speed Circuit-Switched Data), состоит в предоставлении одному и тому же пользователю нескольких слотов в GSM-кадре, что увеличивает скорость передачи в соответствующее число раз. Второе – GPRS (General Packet Radio Service) – предусматривает организацию специального канала пакетной передачи со скоростями до 105 кбит/с (или даже выше, но без помехоустойчивого кодирования). Наконец, третье – EDGE (Enhanced Data Rates For Global Evolution) – подразумевает введение, наряду с

гауссовской частотной модуляцией с минимальным сдвигом (МЧМ), добавочного модуляционного формата – восьмеричной ОФМ-8, утраивающей скорость передачи в рамках фиксированного частотного ресурса. Согласно рекламным материалам, совокупность всех названных мероприятий позволит повысить скорость передачи до 384 кбит/с.

Разумеется, компании, насыщающие рынок аппаратурой других стандартов, стремятся избежать роли аутсайдеров и анонсируют усовершенствования аналогичного плана. Примером этого служит реализованный в рамках стандарта IS-95 обмен абонентской емкости на скорость передачи, позволяющий поднять последнюю до 105 кбит/с. Однако временный, переходный характер такого рода модернизаций очевиден: максимизация скорости означает предоставление всего имеющегося ресурса единственному потребителю, а ухудшение качества связи, сопутствующее применению ОФМ-8 и отказу от канального кодирования, резко ограничит зону обслуживания БС. Поэтому интенсивная работа по подготовке нового стандарта мобильной связи, откликающегося на вызовы XXI в., началась еще до возникновения вышеупомянутых проектов.

Инициаторами и наиболее заинтересованными субъектами разработки стандартов третьего поколения (3G) явились Международный телекоммуникационный союз (ITU – International Telecommunication Union), Европейский институт телекоммуникационных стандартов (ETSI – European Telecommunication Standards Institute), ассоциации радиопромышленников США (TIA – Telecommunication Industry Association) и Японии (ARIB – Association of Radio Industries and Businesses), органы, представляющие интересы телекоммуникационных сообществ Китая и Кореи, а также крупнейшие корпорации, определяющие конъюнктуру мирового рынка (Nokia, Eriksson, Qualcomm, Motorola, Lucent, Nortel и др.).

Несмотря на то, что история вопроса укладывается в весьма непродолжительный временной отрезок, ее повороты и коллизии уже составили достаточно большой объем. Одним из камней преткновения оказалось несоответствие распределений частот в различных частях света, затрудняющее стандартизацию диапазонов и отягощающее выработку единой системной концепции. Другим серьезным препятствием явилось естественное стремление ряда корпораций, особенно лидеров в продвижении систем стандарта IS-95 (QUALCOMM, Lucent и т. д.), максимально сгладить производственные проблемы, неизбежно сопровождающие переход на новые технологии, и соблюсти преемственность между 2G- и 3G-стандартами. Положения сторон временами становились столь непримиримыми, что сама идея консолидации подходов казалась нереальной. Однако в итоге многочисленных взаимных уступок, компромиссов и попыток гармонизации проектов относительное согласие к 2000 г. было все же достигнуто. В его основу легла трактовка, допускающая сосуществование под общим флагом 3G-стандарта параллельных спецификаций (семейство IMT-2000), отражающих корпоративные точки зрения определенных групп при сохранении единого понимания задач

мобильной связи в наступившем столетии и унификации некоторых наиболее весомых системных показателей.

Согласованные основные требования, определяющие философию 3G, в укрупненной формулировке первоначального, базового варианта таковы [2, 3, 7]:

- скорость передачи данных до 2 Мбит/с в 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 информации 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 разнесения 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.).

Лидирующие позиции закрепились за двумя проектами, общей платформой которых является технология кодового разделения (CDMA). Первый из них – UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) – является продуктом кооперации Евросоюза (в лице ETSI) и Японии (ARIB) и имеет действенную поддержку со стороны Кореи, Китая, а также многих корпораций Европы и США. Хотя радиointерфейс UMTS, получивший название UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network), основан на кодовом разделении и практически не имеет ничего общего с физическим уровнем GSM, на сетевом уровне предлагаемый стандарт целиком опирается на готовую инфраструктуру GSM. Поэтому он особенно выгоден фирмам – поставщикам оборудования GSM, ряд из которых (Nokia, Eriksson) принимал самое непосредственное участие в его разработке, и, благодаря активности все тех же компаний, его внедрение вышло на эксплуатационную стадию уже в 2002 г. Для завершения работы над спецификацией стандарта создано организационное ядро 3GPP (3G Partnership Project), наименование которого часто используется как синоним названия самого проекта UMTS [2].

Второй проект, известный под именем CDMA2000, является максимально приемственным по отношению к системе CDMAOne (IS-95) и настойчиво продвигается компаниями Qualcomm, Lucent и Motorola – основными поставщиками и операторами действующих CDMA-систем. Учитывая масштабы распространения CDMAOne в США и на азиатском субконтиненте, можно не

сомневаться в жизнеспособности и перспективности названного проекта. Процесс доводки спецификации этого стандарта также интернационализирован и контролируется органом, называемым 3GPP2 (3G Partnership Project number 2).

1.3. Особенности построения сетей радиодоступа стандарта UMTS/FDD

1.3.1. Общая характеристика и основные параметры стандарта UMTS/FDD

Спецификация 3GPP представляет собой чрезвычайно громоздкий документ, заверенная версия которого по оценкам будет содержать более 4000 страниц [2]. По своему назначению это директива, главная цель которой дать однозначные и недвусмысленные указания, подлежащие обязательному выполнению любым производителем и оператором. Остановимся лишь на наиболее принципиальных чертах физического уровня радиointерфейса UTRAN, определяющих философию системы, призванной стать одним из основных коммуникационных средств наступившего столетия.

Международным регламентом для 3G-систем на европейском и большей части азиатского субконтинентов выделены участки спектра в районе частоты 2 ГГц: 1920...1980 МГц для линии «вверх» и 2100...2170 МГц для линии «вниз». Тем самым предусматривается организация дуплексной связи на основе частотного разнесения (FDD – Frequency Division Duplex). Однако указанные диапазоны доступны не во всех частях света в силу исторически сложившегося распределения частот, и потому в некоторых регионах (например, США) реализация частотного дуплекса оказывается невозможной. В силу этого, наряду с основным частотным вариантом дуплекса, стандарт оговаривает и дополнительный временной (TDD – Time Division Duplex), в котором часть временного кадра выделяется для передачи сообщения от БС к МС, тогда как другая служит для передачи в обратном направлении. В настоящем подразделе рассмотрение концентрируется на варианте FDD.

Кроме того, спецификация 3GPP определяет UMTS как широкополосную (spread spectrum) систему с кодовым разделением (CDMA) и прямым (direct sequence) расширением, жестко оговаривая структуры расширяющих, канализирующих и скремблирующих кодов, а также устанавливая единую и неизменную частоту следования чипов названных кодов в 3,84 Мчип/с ($3,84 \cdot 10^6$ чипов в секунду) [2, 3].

Сети мобильной связи третьего поколения предоставляют клиентам множество новых услуг, которые способны существенно повысить как доходы операторов, так и доходы производителей сетевого оборудования и телефонов. Появляется новый вид деятельности – предоставление информационных услуг (контента) по заказу пользователя.

Кроме того, с помощью сетей 3G можно передавать большие объемы информации с высокими скоростями (табл. 1.1) [1]. Это позволит получить качественно новый уровень связи и на его основе сформировать глобальное

информационное пространство, доступ к которому не зависит от местоположения абонента. Вследствие этого мобильный телефон становится не только средством голосового общения, но и многофункциональным устройством. Концепция архитектуры сети UMTS как многоуровневой иерархической системы предполагает объединение физических уровней системы на основе доменов (структурных подсистем) и объединение ее функциональных уровней на основе вертикальных плоскостей и горизонтальных уровней. Деление сети UMTS на домены (рис. 1.7) является результатом выполнения требований по обеспечению эволюции существующей сетевой инфраструктуры, например инфраструктуры GSM, N-ISDN, B-ISDN или PDN.

Таблица 1.1

Виды предоставляемых услуг в стандарте UMTS

Услуги сетей UMTS	Скорость передачи данных, кбит/с	Средняя длительность сообщения, с	Режим работы	Пояснения
Речь, голосовая почта	4...32	60	Коммутация каналов	Голосовая связь
SMS, определение местоположения	9,6...14,4	30	Коммутация пакетов	Низкоскоростной обмен данными
Работа с сетью ISDN	до 64	156	Коммутация каналов	Передача данных от (к) абонентов сетей ISDN
Видеотелефонная связь, передача изображений и больших объемов информации	128...134	144	Коммутация каналов	Интерактивный обмен мультимедийными данными
Работа с сетью Интернет и интрасетями	384...2048	14...53	Коммутация пакетов	Асимметричная передача мультимедийных данных

Для взаимодействия между доменами сети UMTS вводятся опорные точки входа и выхода подсистем, увязывающие подсистемы в единую систему по совокупности стандартизованных входных и выходных информационных, технических и сетевых параметров.

Совокупность опорных точек сети UMTS содержит (см. рис. 1.7) [1]:

- C_u – опорную точку между доменом модуля идентификации абонента (USIM) и доменом оборудования подвижной связи (ME);

- I_u – опорную точку между доменом сети доступа и доменом сети обслуживания;
- U_u – опорную точку между доменом абонентского оборудования и доменом инфраструктуры;
- Y_u – опорную точку между доменом сети обслуживания и доменом транзитной сети;
- Z_u – опорную точку между доменом сети обслуживания и доменом домашней сети.

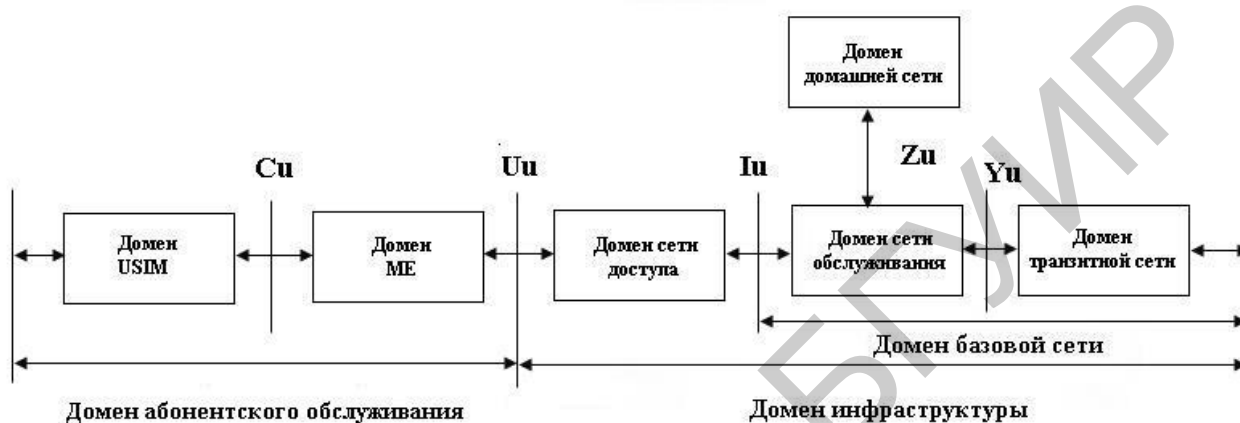


Рис. 1.7. Доменная структура сети UMTS

В то же время, согласно концепции IMT-2000, системная архитектура сетей 3G подразделяется на две части: сеть радиодоступа и базовую сеть. На рис. 1.8 представлена системная архитектура сети UMTS с указанием основных интерфейсов и следующих функциональных подсистем: UE – абонентское оборудование, UTRAN – сеть радиодоступа, CN – базовая сеть [1, 7].

Абонентское оборудование UE представляет собой мобильные абонентские терминалы (АТ), которые посредством радиоинтерфейса U_u взаимодействуют с базовыми станциями сети UTRAN. Основное отличие абонентского оборудования сети UMTS от аналогичных устройств сетей 2G состоит в их расширенной функциональности, обеспечиваемой благодаря высоким скоростям передачи данных.

Абонентское оборудование UE содержит два элемента:

- абонентский терминал, состоящий из приемопередающего оборудования МС и терминального оборудования, реализующего конечную услугу;
- модуль идентификации абонента USIM, являющийся интеллектуальной картой с идентификационными данными абонента и выполняющий алгоритмы опознавания, хранения и идентификации абонента.

Главная задача сети радиодоступа UTRAN – управление радиоресурсами, основанное на следующих принципах:

- использование многоуровневой системы управления как терминалом, так и базовым оборудованием (сетевым и радио), что позволяет разделять циркулирующие потоки данных на логические, транспортные и физические;

- введение служб обмена данными в качестве основного средства взаимодействия уровней управления как внутри сети, так и при межсетевом обмене.

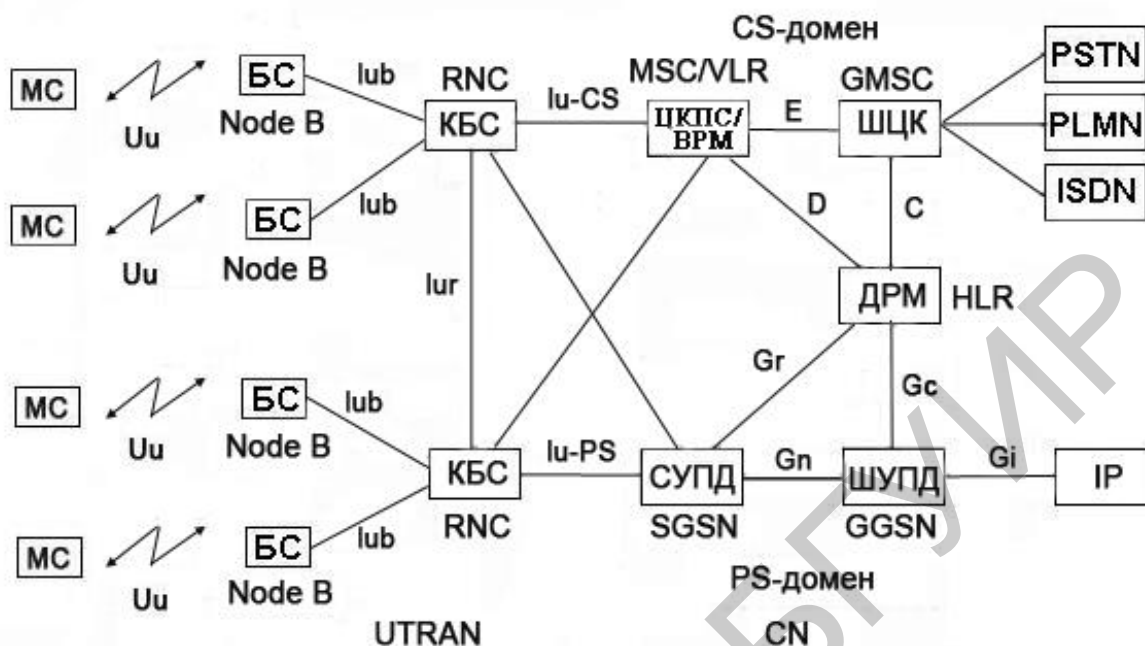


Рис. 1.8. Системная архитектура сети UMTS:

MC – мобильная станция; BC – базовая станция;

КБС (RNC) – контроллер базовых станций;

ЦКПС (MSC) – центр коммутации подвижной связи;

ВРМ (VLR) – визитный регистр местоположения;

ДРМ (HLR) – домашний регистр местоположения;

СУПД (SGSN) – сервисный узел поддержки передачи пакетных данных;

ШУПД (GGSN) – шлюзовый узел поддержки передачи пакетных данных;

ШЦК (GMSC) – шлюзовый центр коммутации;

ISDN – цифровая сеть с интеграцией служб;

PSTN – телефонная сеть общего пользования с коммутацией каналов;

PLMN – телефонная сеть общего пользования;

IP – сеть передачи данных

Функции управления реализуются с помощью четырех главных интерфейсов:

- Uu – интерфейса между абонентским оборудованием и базовыми станциями (радиоинтерфейс);

- Iub – интерфейса между базовыми станциями и контроллерами;

- Iur – интерфейса между контроллерами;

- Iu – интерфейса между контроллерами и базовой сетью.

По радиоинтерфейсу Uu происходит обмен данными и служебной информацией между абонентскими и базовыми станциями сети UMTS. Его принято обозначать термином UTRA. Радиоинтерфейс UTRA включает в себя две различные

технологии радиодоступа: W-CDMA (UTRA FDD) и TD-CDMA (UTRA TDD), каждая из которых предназначена для использования на уровне иерархии сети базовых станций (табл. 1.2) [3].

При дуплексной передаче с частотным разделением FDD число каналов в линиях «вниз» и «вверх», как правило, одинаково. В режиме временного дуплекса TDD двусторонняя радиосвязь обеспечивается за счет временного уплотнения каналов передачи и приема на одной несущей, что позволяет оптимально перераспределять ресурсы линии связи, выделяя различное число временных интервалов в линиях «вверх» и «вниз».

Сеть UTRAN состоит из двух элементов: базовых станций (Node B) и контроллеров базовых станций (RNC).

Базовые станции (Node B) образуют радиоканалы по радиointерфейсу Uu с абонентским оборудованием. В функции базовой станции входят: обработка сигнала на физическом уровне (канальное кодирование и перемежение, выравнивание скоростей потоков данных, расширение спектра сигнала и др.); выполнение некоторых задач управления радиоресурсом (например, управление мощностью в закрытой цепи и др.); конвертирование транспортных потоков данных между интерфейсами Iub и Uu [3, 15].

Базовая станция типовой конфигурации обслуживает до шести сот, предоставляя до трех несущих на один сектор.

Контроллер базовых станций (RNC) выполняет функции управления радиоресурсами сети радиодоступа UTRAN, основными из которых являются: управление загрузкой и контроль перегрузки сот; управление допуском в сеть и выделение кодов для новых соединений с использованием радиointерфейса; регулирование приоритетности и очередности соединений; управление соединениями и мониторинг состояния радиointерфейса.

Контроллеры базовых станций (RNC) соединяются с БС (Node B) и могут поддерживать до нескольких десятков базовых станций. Контроллер вместе с подключенными к нему базовыми станциями образует сеть радиодоступа UTRAN.

Основными элементами базовой сети CN являются:

- центр управления и коммутации ЦКПС/ВРМ (MSC/VLR), в котором объединен коммутатор мобильной связи ЦКПС (MSC) и регистр ВРМ (VLR);
- шлюзовый центр коммутации ШЦК (GMSC);
- сервисный узел пакетного трафика СУПД (SGSN);
- шлюзовый узел поддержки пакетного трафика ШУПД (GGSN);
- домашний регистр местоположения (HLR).

Центр управления и коммутации ЦКПС/ВРМ (MSC/VLR) – главный элемент CS-домена сети, обслуживающий несколько подсистем радиодоступа RNS и обеспечивающий все виды соединений.

Характеристики радиointерфейса UTRAN

Характеристика	Значения параметров	
	UTRA FDD (W-CDMA)	UTRA TDD
Диапазон частот, МГц	2100...2170 («вниз»); 1920...1980 («вверх»)	1900...1920; 2010...2025
Метод доступа	DS-CDMA	TD-CDMA
Полоса частот, МГц	2x5; 2x7,5; 2x15	5
Канальная скорость манипуляции, Мбод (Мсимв/с)	3,84	3,84
Синхронизации базовых станций	Асинхронная (возможна синхронная)	Синхронная
Схема поиска ячеек	Трехэтапная процедура (первичный и вторичный канал синхронизации SCH)	Канал SCH
Коэффициент расширения спектра SF	1...512	1...16
Вид модуляции	QPSK; BPSK	QPSK
Глубина перемежения, мс	10/20/40/80	10/20/40/80
Кадровая структура, мс	0,625 (КИ*); 10 (кадр); 720 (суперкадр)	0,625 (КИ); 10 (кадр); 720 (суперкадр)
Скорость передачи в канале управления мощностью, кбит/с	1,6	0,1...0,8
Точность управления мощностью, дБ	0,25...1,5	1...3
Максимальная излучаемая мощность (при передаче речевых пакетов со скоростью 8 кбит/с), дБмВт	24	27,2
Максимальная дальность мобильной и базовой станций, км	5,787/4,475**	6,041/5,279**

* КИ – канальный интервал.

** Первое число соответствует линии «вниз», второе – линии «вверх».

Центр управления и коммутации выполняет следующие функции:

- осуществление соединений для режима с коммутацией каналов, включая обмен данными между различными элементами сети UMTS, в том числе между элементами сети UTRAN;
- динамическое распределение сетевых ресурсов;

- регистрация местоположения абонента;
- управление хандовером;
- управление биллингом сети, заключающееся в сборе данных о соединениях и предоставление их в биллинг-центр;
- управление распределением радиочастот в зоне ответственности ЦКПС (MSC);
- межсетевое взаимодействие и соединение с другими центрами коммутации, в частности со шлюзовыми центрами коммутации ШЦК (GMSC);
- эхоподавление и контроль;
- работа в качестве шлюза к внешним сетям для CS-режима.

Регистр VLR содержит информацию о визитных (роуминговых) мобильных абонентах в зоне обслуживания коммутатора ЦКПС (MSC), копию подключенных услуг связи для визитных абонентов, а также информацию о местоположении абонентского терминала. Один VLR может обслуживать несколько ЦКПС (MSC). Информация регистра VLR дублирует информацию базы данных регистра HLR с одним отличием: информация в BPM (VLR) является временной. Когда абонент сети осуществляет подписку на услуги, информация о нем добавляется в ДРМ (HLR) и далее копируется в BPM (VLR) для регистрации абонента при его перемещениях за пределами домашней сети. При регистрации абонента в новой сети данные о нем копируются в BPM (VLR) этой сети.

В BPM (VLR) содержится следующая информация о каждом абоненте:

- международный идентификатор абонента мобильной связи IMSI (International Mobile Subscriber Identity);
- мобильный международный номер абонента в сети ISDN – MSISDN (Mobile Station International ISDN Number);
- роуминговый номер мобильного терминала MSRN (Mobile Station Roaming Number);
- временный идентификатор абонента мобильной связи TMSI (Temporary Mobile Station Identity);
- локальный признак абонентского терминала LMSI (Local Mobile Station Identity);
- местонахождение зоны, в которой зарегистрирован абонент;
- признак сервисного узла пакетного SGSN, в котором зарегистрирован абонент;
- последнее и начальное местонахождение абонента.

Шлюзовый центр коммутации GMSC включается между телефонной сетью общего пользования PLMN и другими MSC сети и осуществляет маршрутизацию входящих соединений с соответствующими MSC сети. Сети PLMN не имеют доступа к базам данных регистра HLR сети UMTS и поэтому не могут выполнять маршрутизацию соединений к соответствующим MSC самостоятельно. Практически существует возможность схемного решения, когда все MSC сети UMTS являются одновременно и ШЦК (GMSC) этой же сети.

Регистр HLR представляет собой справочную базу данных о постоянно зарегистрированных в сети абонентах. В ней содержится информационный профиль абонента (идентификационные номера и адреса, а также параметры подлинности абонентов, состав подключенных услуг связи, специальная информация о маршрутизации и данные о роуминге абонента). Каждый абонент сети имеет информационный профиль, хранящийся только в одном ДРМ (HLR). ДРМ (HLR) может быть конструктивно совмещен с ЦКПС/ВРМ (MSC/VLR), но, как правило, производители отделяют его от ЦКПС/ВРМ (MSC/VLR), объединяя в единый блок ДРМ (HLR/AuC/EIR). Одна сеть может иметь несколько ДРМ (HLR).

Информация об абоненте поступает в ДРМ (HLR) после заключения контракта на предоставление услуг (подписки на услуги связи). Существуют два типа информации, содержащейся в ДРМ (HLR): временная (переменная) и постоянная. Постоянная информация об абоненте никогда не меняется, за исключением случаев изменения условий контракта (например, подписка на дополнительные услуги). Переменная информация об абоненте содержит данные о текущем адресе абонента в ВРМ (VLR), коде шифрования абонента, который может изменяться при каждом выходе, и ряд других параметров.

Информация об абоненте включает в себя:

- идентификатор IMSI абонента, который однозначно идентифицирует абонента с соответствующей SIM-картой;
- номер абонента в сети ISDN MSISDN абонента (например, +7-495-7654321);
- категорию абонента;
- ограничения возможности роуминга;
- данные о членах закрытой группы пользователей (CUG);
- параметры дополнительных услуг;
- ключ аутентификации.

Кроме этих важнейших регистров в сети UMTS используются:

- регистр идентификации оборудования – РИО (EIR);
- центр аутентификации – ЦА (AuC).

Регистр идентификации оборудования EIR хранит идентификационные номера абонентских терминалов IMEI для подтверждения их подлинности в сети, может содержать три различающихся списка:

- белый: перечень IMEI абонентских терминалов (телефонных аппаратов), допущенных к использованию в сети;
- черный: перечень IMEI телефонных аппаратов, украденных у владельцев и запрещенных к использованию в сети;
- серый: перечень IMEI телефонных аппаратов, которые являются проблемными по разным причинам (например, некондиционное программное обеспечение), но нет оснований для юридического запрета на их использование.

Регистр EIR в сети UMTS минимальной конфигурации содержит белый список. Как показывает практика, EIR ряда сетей других стандартов не хранят

черный список, и это позволяет использовать в таких сетях украденные телефонные аппараты, но в сеть UMTS входит только один EIR, подключенный ко всем HLR сети.

Центр аутентификации ЦА (AuC) объединен с регистром HLR и хранит ключи аутентификации K_i и международные идентификаторы абонента IMSI. Данная информация относится к постоянной информации об абоненте на период действия контракта (подписки). Ключ аутентификации используется в алгоритмах шифрования для генерирования тройки аутентификационных параметров абонента (ключа шифрования K_c , кода ответа SRES, случайного числа RAND) в течение процедуры аутентификации. На физическом уровне центр AuC всегда взаимодействует с ДРМ (HLR) с использованием MAP-интерфейса (Р-интерфейса), который не стандартизован ETSI.

Сервисный узел пакетного трафика SGSN выполняет функции, аналогичные функциям ЦКПС (MSC), но для домена, обеспечивающего режим передачи данных с коммутацией пакетов (PS-домена). Узел SGSN является центральным элементом сети UMTS для PS-домена и работает со следующими видами информации:

- идентификаторами абонентов мобильной связи IMSI;
- временными признаками и идентификаторами пакетов данных;
- адресами протокола пакетной передачи PDP (Packet Data Protocol);
- PDP-адресами;
- данными о местоположении абонентов;
- данными о сотах или зонах маршрутизации, в которых зарегистрирован абонентский терминал;
- данными ВРМ (VLR), в котором зарегистрирован абонентский терминал;
- данными об адресе каждого ШЦК (GGSN), в котором активирован PDP-контекст (Packet Data Protocol Context), устанавливающий логическую связь между абонентским терминалом и GGSN для передачи IP-трафика.

Узел СУПД (SGSN) соединен с сетью радиодоступа UTRAN интерфейсом IuPS и с сетью радиодоступа GERAN (GSM/EDGE) интерфейсом Gb. Узел ШЦК (GGSN) является интерфейсным узлом, обеспечивающим маршрутизацию пакетных данных сети UMTS во внешние сети с коммутацией пакетов и обратно.

Центр ЦКПС/ВРМ (MSC/VLR) и узел ШЦК (GMSC) образуют CS-домен базовой сети CN, обеспечивающий режим передачи данных с коммутацией каналов, а узлы СУПД (SGSN) и ШУПД (GGSN) – PS-домен базовой сети, обеспечивающий режим передачи данных с коммутацией пакетов.

Внешние сети, с которыми взаимодействует сеть UMTS, можно разделить на два типа:

- работающие в режиме коммутации каналов (например, телефонная сеть общего пользования PSTN или интегрированная сеть передачи данных ISDN);
- работающие в режиме коммутации пакетов (например, сеть Интернет).

1.3.2. Базовая станция сотовой сети. Структурная схема, назначение, основные характеристики и параметры

Базовая станция представляет собой дуплексный приемопередатчик, работающий в автоматическом режиме, который располагается в зоне обслуживания данной станции [3, 11]. Структурно БС состоит из некоторого количества съемных блоков и соединяющих их шин (рис. 1.9).

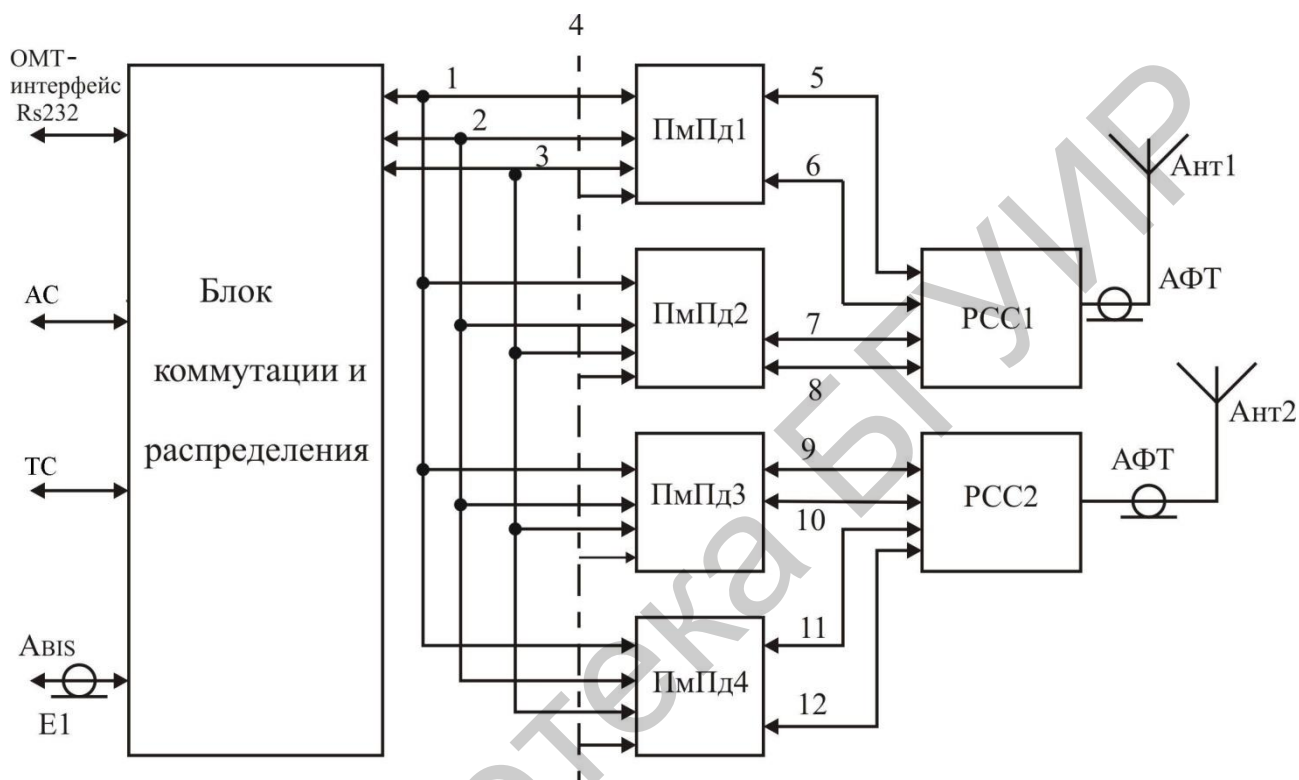


Рис. 1.9. Структурная схема базовой станции:

- 1 – локальная шина А; 2 – локальная шина Б; 3 – шина синхронизации;
- 4 – шина мультисброса «х»;
- 5, 7, 9, 11 – шины управления приемопередатчика (ПмПд) блоком разделения/сложения сигналов (PCC);
- 6, 8, 10, 12 – шины передачи данных; АФТ – антенно-фидерный тракт;
- АС – аварийная сигнализация; ТС – тестовые сигналы

Базовые станции поддерживают, как правило, иерархическую структуру сот:

- макросоты – обеспечение общего покрытия с радиусом соты $R_{\max} = 35$ км;
- микросоты – обеспечение покрытия на отдельных улицах, кварталах с радиусом соты $R = 500\text{--}1000$ м;
- пикосоты – для обеспечения покрытий внутри помещений (R соты – до 100 м).

Обязательно поддерживается использование секторных антенн со значением угла секторизации 60, 90, 120°.

Блок коммутации и распределения подключает определенные временные слоты к отдельным передатчикам, формирует сигналы тактовой синхронизации, хранит базу данных с параметрами всех устройств, входящих в БС, обрабатывает аварийные сигналы, контролирует ошибки передачи, обменивается управляющими сигналами с контроллером базовой станции (рис. 1.10).

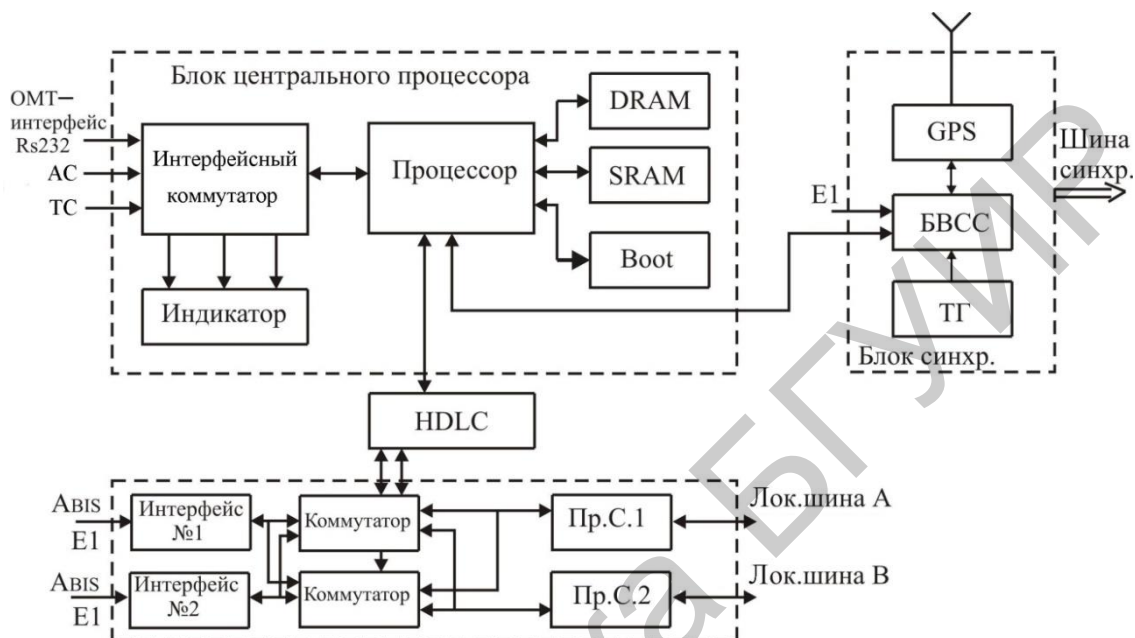


Рис. 1.10. Структурная схема блока коммутации и распределения: HDLC – специальная буферная часть (концентратор); Пр.С. – преобразователь стыка; DRAM, SRAM, Boot – динамическая, статическая и постоянная память соответственно; БВСС – блок выделения синхросигнала; ТГ – тактовый генератор

Интерфейсный коммутатор выделяет временные слоты из Abis-канала (либо из потока E1) и передает блоку ПмПд по локальной шине. Этот коммутатор поддерживает функцию мультисброса, т. е. передачи неиспользуемых слотов на данной БС к другим БС.

Данный режим включается по интерфейсу ОМТ (интерфейс обслуживания) при установке БС.

Блок центрального процессора выполняет следующие функции:

- 1) общее управление БС;
- 2) загрузка программного обеспечения для всех съемных блоков;
- 3) обработка аварийных сигналов;
- 4) сигнализация КБС.

Блок синхронизации обеспечивает стабильные синхросигналы для всех цифровых устройств БС. Эти синхросигналы могут формироваться от собственного источника, блока внешней синхронизации (выделенной тактовой частоты из блока E1) либо приемника GPS (глобальная система

позиционирования). HDLC – концентратор каналов высокого уровня, который обеспечивает функции мультиплексирования и передачи каналов синхронизации. Приемопередатчик (ПмПд) осуществляет прием и передачу сигналов на частотах, выделенных оператору в диапазоне сотовой связи (рис. 1.11).

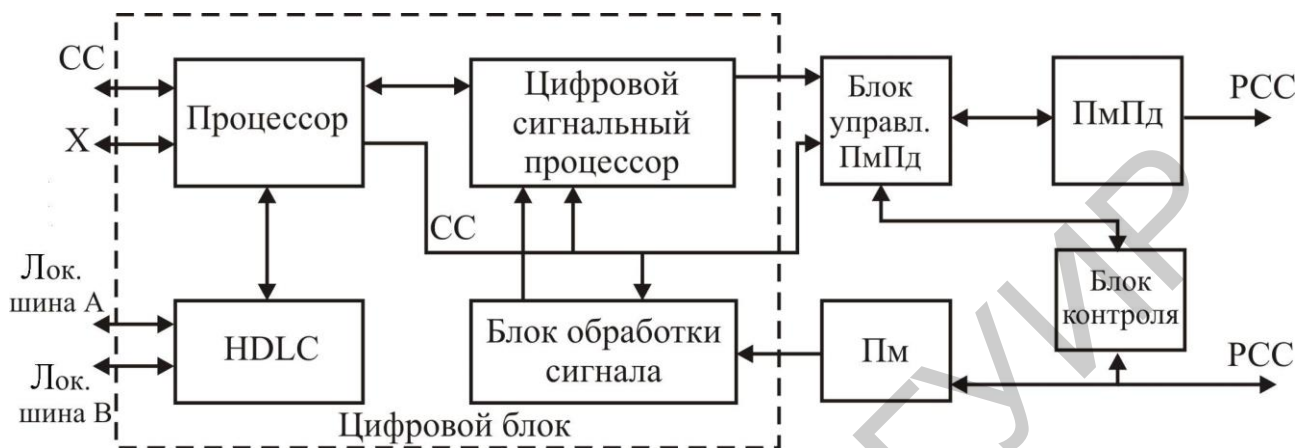


Рис. 1.11. Структурная схема приемопередатчика

Цифровой блок обеспечивает формирование слота данных для передачи его по локальной шине либо управление данными, поступающими с локальной шины цифрового сигнального процессора. Взаимодействие с локальной шиной осуществляется через контроллер управления каналами данных высокого уровня HDLC. В цифровом блоке происходит помехоустойчивое кодирование/декодирование трафика, подлежащего передаче/приему; шифрование либо дешифрование; упаковка либо распаковка слотов эфирного интерфейса.

В блоке обработки сигналов происходит оценка импульсной характеристики канала и ее выравнивание (эквалайзинг). В приемопередатчике осуществляется модуляция несущей частоты в диапазоне прямого канала (от БС к МС) методом гауссовской частотной манипуляции с минимальным частотным сдвигом.

При работе с медленными скачками по частоте значение несущей частоты меняется по квазислучайному закону. Скачки по частоте являются мерой борьбы с многолучевостью на радиолинии БС – МС.

Для работы нескольких ПмПд на одну антенну используются блоки сложения/разделения сигналов (РСС). Данные блоки существуют в двух вариантах: фильтрующие (рис. 1.12) и гибридные (рис. 1.13).

Достоинством фильтрующего блока РСС является то, что в нем используются двухполосные фильтры, которые, как правило, охватывают заранее выделенный диапазон частот и усилители высокой частоты (УСВЧ), работающие по каждому из каналов. Это обеспечивает уменьшение уровня

шумов в принимаемом диапазоне. Недостатком такой схемы является трудность в реализации режима с перескоком частоты.

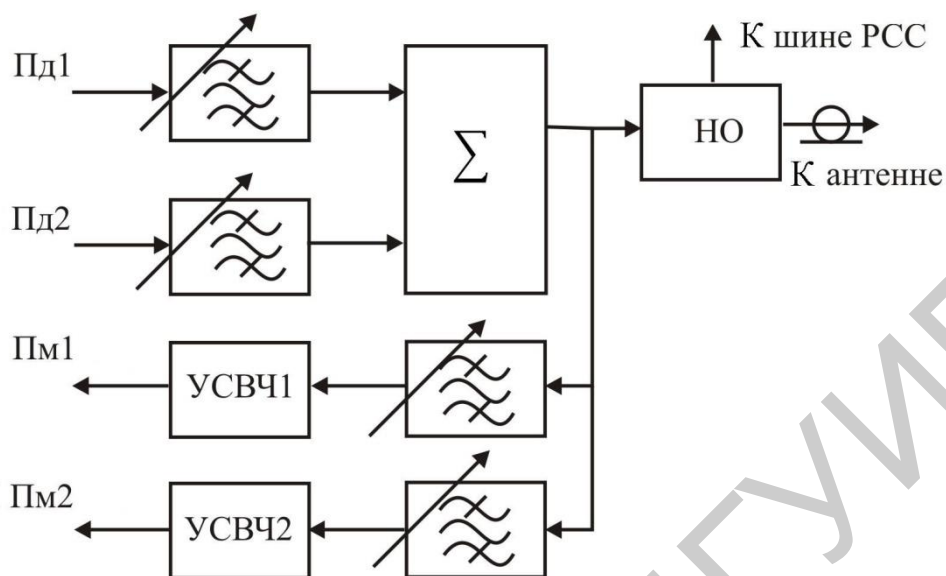


Рис. 1.12. Фильтрующий блок РСС

По другому принципу построены гибридные блоки РСС. Их основным достоинством является более компактная структура, меньшие затраты на оборудование.

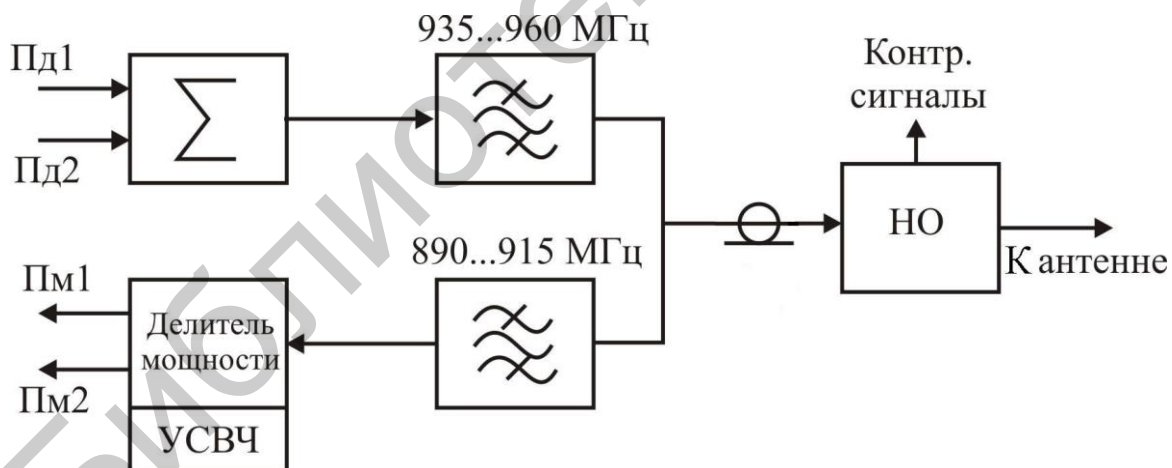


Рис. 1.13. Гибридный блок РСС

Важное место при построении базовых станций имеют антенны и элементы антенно-фидерного тракта (вклейка, рис. 1.1–1.2). Большое распространение получили ромбические проволочные антенны, помещенные в общий защитный кожух, который выполнен из диэлектрического материала и не искажает форму диаграммы направленности.

Как правило, поддерживается секторизация на 120 и 60°, что позволяет уменьшить количество базовых станций и обслуживать большее количество абонентов на единицу обслуживаемой площади. Вместе с антеннами БС может устанавливаться и другое оборудование, например антенны радиорелейных систем передачи, элементы антенно-фидерного тракта и т. д. (см. вклейку, рис. 1.2).

1.3.3. Контроллер базовых станций. Структурная схема, назначение, основные характеристики

Структурная схема контроллера базовой станции (КБС) показана на рис. 1.14.

Контроллер базовых станций осуществляет управление несколькими БС, которые обеспечивают связь с МС через радиointерфейс, а также производит упаковку информации, передаваемой в ЦКПС, и ее распаковку при передаче в обратном направлении. Основными элементами КБС являются: групповой коммутатор, станционные терминалы, центральный процессор (ЦП), процессор поддержки, блок коммутации каналов, блок управления приемопередатчиками, блок адаптации скорости, микропроцессоры (МП) и блоки ОКС-7 (общеканальной сигнализации).

Количество станционных терминалов, выполняющих функции формирования физического стыка, или интерфейса, с ЦКПС и БС, может быть разным, максимально до 256 БС, но обычно обслуживаются до 16 БС.

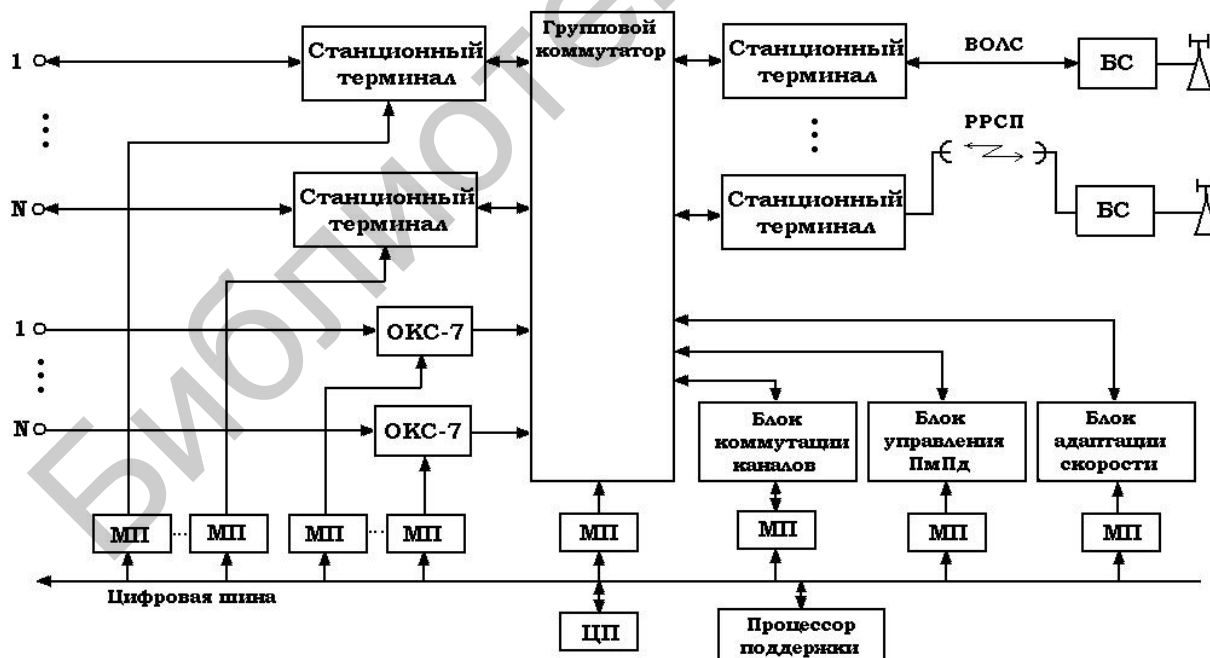


Рис. 1.14. Структурная схема контроллера БС

Управление оборудованием осуществляется с центрального процессора, который в паре с процессором поддержки управляет работой

микропроцессоров. МП в свою очередь управляют работой соответствующих управляемых ими блоков и устройств. Блоки управления ПмПд, блок адаптации скорости, блок коммутации каналов принимают участие в передаче информации через групповой коммутатор, в частности, блок управления ПмПд принимает решение и управляет процессами хэндовера для МС, находящихся в зоне действия соответствующего контроллера. Стационарные терминалы связываются по протоколу А-bis с БС посредством оптических кабелей или РРСП (радиорелейных систем передачи).

Библиотека БГУИР

2. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СОТОВОЙ СЕТИ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА UMTS

2.1. Основные особенности планирования радиосети WCDMA

Планирование радиосети WCDMA обычно включает в себя определение емкости, особенностей территориального покрытия и их оптимизацию на сети. На рис. 2.1 показан процесс планирования радиосети WCDMA.



Рис. 2.1. Процесс планирования радиосети WCDMA

На этапе определения размаха системы оцениваются возможности базовых станций, приблизительное число зон (сайтов) размещения базовых станций и их конфигурация и другие элементы сети с учетом требований оператора и распространения радиоволн в этой зоне. При определении размаха сети следует выполнять требования оператора к зоне обслуживания, емкости и качеству обслуживания. Емкость и качество обслуживания тесно связаны в сетях WCDMA, и поэтому оба параметра должны учитываться одновременно при выборе размеров таких сетей.

При детальном планировании требуются учет реального распространения радиоволн и оценка оператором трафика в каждой зоне. Расположение базовых станций и параметры сети выбираются по методике планирования и/или самим проектировщиком. После завершения детального планирования можно проанализировать емкость и зону обслуживания для каждой ячейки с анализом емкости и зоны обслуживания. Во время работы сети можно производить измерения ее параметров, а результаты этих измерений использовать для визуализации и оптимизации работы сети. Процесс планирования и

оптимизации можно также автоматизировать с помощью программируемых средств и элементов сети.

Радиопомехи по соседним каналам нужно учитывать при проектировании любых широкополосных систем, где нет возможности иметь большие защитные полосы. Отдельно анализируется влияние радиопомех между сетями разных операторов, и приводятся решения по планированию сети.

2.2. Определение территории обслуживания сети, ресурсов радиоканала и эффективности зоны обслуживания

Определение территории обслуживания радиосети WCDMA – это процесс, с помощью которого производится оценка возможных конфигураций и количества сетевого оборудования на основании требований оператора, связанных с приведенными ниже параметрами.

В понятие территории входят следующие определения: зоны обслуживания, информация о типах зон, условия распространения радиоволн.

Емкость сети подразумевает: располагаемый спектр частот, прогнозирование роста числа абонентов, информацию об интенсивности трафика.

Качество обслуживания связано с вероятностным расположением зон (вероятная зона обслуживания), вероятностью блокировки, возможностями прямого соединения пользователей.

В оценку территории обслуживания радиосети входят анализ ресурса радиолинии и зоны обслуживания, оценка емкости и в конечном итоге оценка количества сайтов и аппаратных средств базовых станций, контроллеров базовых станций (RNC), оборудования для различных интерфейсов и элементов базовой сети (т. е. базовых элементов сети с коммутацией каналов и элементов сети с коммутацией пакетов).

Существует несколько специальных параметров WCDMA, связанных с оценкой ресурса канала радиосвязи, которые не используются в системе радиодоступа, основанном на TDMA, например GSM. Самыми важными являются два параметра.

Первый параметр связан с запасом помехозащищенности. Он необходим для расчета ресурса радиолинии, потому что нагрузка ячейки и коэффициент нагрузки влияют на зону обслуживания. Чем большая нагрузка допустима в системе, тем больший запас помехозащищенности необходим в восходящем канале и тем меньше зона обслуживания. Для случаев с ограниченной зоной обслуживания допускается меньший запас помехозащищенности, так как в случаях с ограниченной емкостью размер ячейки ограничивается допустимыми потерями на трассе в ресурсе радиолинии и максимальная емкость воздушного интерфейса сайта базовой станции не используется. Типичные значения запаса помехозащищенности в случаях с ограниченной зоной обслуживания находятся в пределах 1,0–3,0 дБ, которые соответствуют 20–50%-й нагрузке.

Второй параметр составляет запас на быстрые замирания (или резерв на управление мощностью). Для обеспечения адекватного быстрого управления мощностью в замкнутом контуре необходим какой-то резерв мощности передачи MS. Это особенно относится к медленно перемещающимся подвижным пользователям, где быстрое управление мощностью помогает эффективно компенсировать быстрые замирания. Резерв по управлению мощностью подробно описан в [14]. Типичные значения для запаса на быстрые замирания находятся в диапазоне 2,0–5,0 дБ для медленно перемещающихся подвижных пользователей.

Важное значение имеет выигрыш при мягком хэндовере или процедуре эстафетной передачи. Хэндоверы – мягкий или жесткий – дают выигрыш при медленных замираниях (логнормальных замираниях) за счет уменьшения требуемого запаса на логнормальные замирания. Это объясняется тем, что медленные замирания для разных базовых станций слабо коррелированы и с помощью хэндовера MS можно выбрать лучшую базовую станцию. Мягкий хэндовер дает дополнительный выигрыш при использовании макроразнесения в борьбе с быстрыми замираниями за счет уменьшения требуемого отношения E_b/N_0 по сравнению с отдельной линией радиосвязи благодаря единению макроразнесений. Полный выигрыш от мягкого хэндовера предположительно находится в интервале 2,0–3,0 дБ, включая выигрыш от медленных и быстрых замираний.

2.3. Основные этапы расчета радиосети UMTS

Как правило, планирование радиосети включает в себя несколько этапов. Как и в сетях второго поколения, они могут быть разделены на 3 фазы: начальное планирование (расчет, постановка целей), детальное планирование радиосети и проведение работ по оптимизации. В сотовых системах, в которых все каналы связи в радиointерфейсе работают на одной частоте, количество одновременно обслуживаемых пользователей влияет на уровень шумов в системе. Следовательно, планирование зоны обслуживания и емкости радиосети UMTS не могут быть отдельными этапами планирования, в отличие от планирования радиосети GSM, где эти два этапа могут четко разграничиваться. В системах третьего поколения важную роль начинают играть сервисы по передаче данных. Множество различных сервисов требует обширного процесса планирования, учитывающего особенности каждой из предоставляемых услуг. Такими особенностями являются, например, разные требования к качеству обслуживания (QoS) для каждого сервиса. Ранее при планировании систем второго поколения, предоставляющих услуги голосовой связи, было достаточно определить покрытие и вероятность отказа, но со временем все более и более важным становится определение вероятности обслуживания для абонентов, находящихся в помещении или автомобиле. В случае планирования UMTS данная проблема более многомерна. Для каждого конкретного вида услуги необходимо определение и соответственно

выполнение требований к качеству обслуживания (QoS). На практике данное означает, что самые строгие требования должны предъявляться к плотности расположения базовых станций.

Также есть и общие аспекты в планировании зон обслуживания радиосетей GSM и UMTS. В обеих системах как восходящая радиолиния (uplink), так и нисходящая (downlink) должны быть проанализированы. При планировании сети GSM необходимо добиваться баланса, то есть допустимые потери на трассе вверх и вниз должны быть одинаковыми. В UMTS одна из радиолиний может быть нагружена сильнее, чем другая, следовательно, эта линия будет ограничивать емкость и зону обслуживания соты. Расчеты, связанные с распространением радиоволн, в основном одинаковы для всех технологий радиодоступа с той лишь разницей, что используются разные модели распространения. Еще одна общая черта – это необходимость оценки уровня помех. В случае WCDMA это необходимо для анализа нагрузки и чувствительности приемников, в TDMA это основа частотного планирования.

Предварительное планирование представляет собой первую приближительную оценку требуемого числа сетевых элементов (конфигурация, количество базовых станций) и их соответствующую емкость. Данный этап включает в себя планирование как сети радиодоступа, так и базовой сети. Рассмотрим конкретно методы планирования радиосети. Задача начального этапа планирования – рассчитать необходимую плотность расположения базовых станций и их конфигурацию для определенной территории. Данный этап включает в себя расчет бюджета радиолинии, оценку емкости сети, анализ покрытия и, как результат, количество необходимого оборудования. Распределение нагрузки сети по различным сервисам, распределение трафика по территории и требования к качеству обслуживания являются исходными данными для расчета.

2.4. Расчет бюджета радиолиний системы WCDMA

Задача при расчете бюджета радиолиний – оценить максимально допустимые потери на трассе. Зная значения допустимых потерь и используя подходящую модель распространения, можно вычислить радиус соты. При расчете бюджета радиолинии учитываются параметры антенн, потери в кабелях, выигрыши от разнесения, запасы на замирания. Результатом расчета являются максимально разрешенные потери на трассе.

Основным параметром, используемым при моделировании, является E_b/N_0 – отношение средней энергии бита к спектральной плотности шума. Требуемое отношение E_b/N_0 зависит от типа сервиса, скорости передвижения абонента и радиоканала. Запишем этот параметр как [14]

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_{пр}}{I} \cdot \frac{W}{R}, \quad (2.1)$$

$$I_{UL} = I_{own} + I_{oth} + P_N, \quad (2.2)$$

где P_{pp} – мощность принимаемого сигнала; I – мощность помехи; I_{own} – суммарная мощность сигнала, полученная от обслуживающей соты (исключая собственный сигнал); I_{oth} – суммарная мощность, полученная от других сот; R – скорость передачи; W – полоса частотного канала; P_N – мощность шума.

Минимально допустимое значение E_b/N_0 на входе приемника по сути является характеристикой оборудования (приемника), следовательно, оно будет индивидуальным для оборудования разных производителей, также оно будет разным для приемников базовой и мобильной станций вследствие различий в сложности их устройства. Значения требуемого отношения E_b/N_0 определено спецификациями 3GPP (3GPP 25.101) для различных типов услуг (типов радиоканала). Данные требования с учетом параметров оборудования базовых станций NSN Flexi WCDMA представлены в табл. 2.1 [15].

Требуемое значение E_b/N_0 зависит от типа услуги (скорость передачи, требование к BER, метод канального кодирования); радиоканала (скорость движения абонента, частота, многолучевость); типа соединения (мягкий хэндовер, разнесенный прием, использование быстрого управления мощностью).

Таблица 2.1

Значения E_b/N_0 для различных типов услуг

Тип услуги, скорость передачи	Значения E_b/N_0 , дБ	
	при скорости 3 км/ч	при скорости 120 км/ч
Восходящая линия		
Телефония, 12,2 кбит/с	4,4	5,4
Передача данных, 64 кбит/с	2	2,9
Передача данных, 144 кбит/с	1,4	2,4
Передача данных, 384 кбит/с	1,7	2,9
Нисходящая линия		
Телефония, 12,2 кбит/с	7,9	7,4
Передача данных, 64 кбит/с	5	4,5
Передача данных, 144 кбит/с	4,7	4,2
Передача данных, 384 кбит/с	4,8	4,3

Требуемое отношение сигнал/шум вычисляется по формуле [14]

$$\frac{E_c}{I} = \frac{E_b}{N_0} \cdot \frac{R}{W}. \quad (2.3)$$

Таким образом, в системе WCDMA соотношение E_b/N_0 больше, чем отношение сигнал/шум в $\frac{W}{R}$ раз, $\frac{W}{R}$ – величина, называемая коэффициентом расширения или выигрышем от обработки. Поэтому допустимое соотношение сигнал/шум в приемнике может быть много меньше единицы.

Чувствительность приемника ограничена тепловым шумом. Спектральная плотность шума N_0 определяется как

$$N_0 = k \cdot T, \quad (2.4)$$

где k – постоянная Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К); T – температура среды.

Мощность теплового шума в приемнике зависит от полосы пропускания фильтра. Для стандарта UMTS полосу согласованного фильтра можно принять равной 3,84 МГц. Мощность теплового шума в приемнике определяется как

$$N = k \cdot T \cdot B. \quad (2.5)$$

В реальном приемнике уровень шумов также определяется качеством внутренних компонентов, таких как малошумящие усилители, фильтры, которые также создают дополнительный шум. Коэффициент шума приемника равен отношению сигнал/шум на его входе и выходе $K_{ш} = 10 \cdot \log_{10} (C/Ш)_{вх} / (C/Ш)_{вых}$. Поэтому уровень собственных шумов приемника для температуры $T = 300$ К и полосы $B = 3,84$ МГц равняется

$$P_{ш} = 10 \cdot \lg(N) + K_{ш} = -108 + K_{ш} \text{ (дБм)}. \quad (2.6)$$

Минимально допустимый уровень сигнала на входе приемника определяется как

$$P_{пр} \text{ (дБм)} = P_{ш} \text{ (дБм)} + (E_b/N_0)_{треб} \text{ (дБ)} - G_{обр} \text{ (дБ)}, \quad (2.7)$$

где $(E_b/N_0)_{треб}$ – требуемое значение E_b/N_0 ; $G_{обр}$ – выигрыш от обработки.

Минимально допустимый уровень сигнала на входе приемника зависит от требуемого отношения E_b/N_0 , скорости передачи данных пользователя, качества компонентов приемника, уровня помех. Помехи могут создавать разные источники: абоненты из обслуживаемой соты; абоненты, обслуживаемые другими сотами; другие источники, действующие в диапазоне используемого частотного канала.

Необходимо учитывать и запас на допустимые внутрисистемные помехи. При расчете используется величина запаса на внутрисистемные помехи, которая характеризует возрастание мощности шума на входе приемника. Для расчета принимают, что запас на внутрисистемные помехи равен

$$L = -10 \cdot \lg(1 - \eta), \quad (2.8)$$

где η – относительная загрузка соты в восходящей или нисходящей линии.

Как видно, запас на внутрисистемные помехи – это функция от загрузки соты: чем больше разрешенная нагрузка в соте, тем большую величину запаса необходимо учесть в расчете. При росте нагрузки до 100 % запас на помехи стремится к бесконечности и зона обслуживания соты уменьшается до 0.

Важным параметром, присутствующим при расчете энергетических параметров сетей UMTS, является выигрыш за счет мягкого хэндовера. Мягкий хэндовер имеет место в том случае, когда мобильная станция соединена как минимум с двумя сотами одновременно. В случае если эти соты принадлежат двум разным базовым станциям (Node B), объединение двух восходящих каналов осуществляется контроллером радиосети. В случае если соты принадлежат одной базовой станции, объединение сигналов осуществляется базовой станцией. В нисходящей линии объединение двух каналов осуществляется Rake-приемником мобильной станции методом оптимального сложения. При оптимальном сложении отношение сигнал/шум на выходе максимально. При методе разнесенного приема сигналы разных каналов складываются с учетом их весовых коэффициентов, а коэффициенты усиления в каждом канале прямо пропорциональны среднеквадратичному значению мощности сигнала и обратно пропорциональны среднеквадратичному значению мощности шума в этих каналах. Выигрыш от мягкого хэндовера достигается за счет макроразнесенного приема, следовательно, уменьшает негативные эффекты от теневых зон и замираний.

В реальной сети зоны обслуживания большинства сот пересекаются. На границе соты мобильная станция может выбрать лучшую соту из доступных в данный момент, то есть мобильная станция не ограничена одним соединением. Это ведет к тому, что запас на замирания может быть снижен при расчете бюджета радиолинии, происходит уменьшение требуемого значения E_b/N_0 . Выигрыш от мягкого хэндовера зависит от условий распространения радиоволн. В городах, где замирания сигналов очень существенны, корреляция между сигналами, пришедшими от разных источников мала, как результат, возрастает выигрыш от использования мягкого хэндовера. Наоборот в сельской местности, когда сигналы незначительно подвержены замираниям, корреляция между сигналами от разных источников возрастает и выигрыш уменьшается. Величина выигрыша может меняться в пределах 2–5 дБ. Типичная величина выигрыша, которой задаются для расчета бюджета радиолинии составляет 2–3 дБ.

Алгоритм быстрого управления мощностью введен в UMTS для того, чтобы поддерживать требуемое значение E_b/N_0 на входе приемника постоянным во время быстрых замираний, обусловленных многолучевостью, глубина замираний может достигать до 30 дБ. Быстрое управление мощностью особенно важно для абонентов, имеющих малую скорость передвижения, так как они не могут быстро изменить свое положение для компенсации глубоких замираний. На границе соты мощность передатчика мобильной станции максимальна, таким образом, не остается запаса на управление мощностью для компенсации быстрых замираний. Для того чтобы учесть этот процесс в расчете, зададимся величиной запаса на быстрые замирания. Величина запаса на быстрые замирания зависит от скорости абонента. Типичные значения величины запаса, в зависимости от скорости абонента, представлены в табл. 2.2 [2].

Таблица 2.2

Типичные значения величины запаса на быстрые замирания

Тип абонента, скорость перемещения	Типичная величина запаса на быстрые замирания
Небольшая скорость (3 км/ч)	3-5 дБ
Средняя скорость (50 км/ч)	1-2 дБ
Высокая скорость (120 км/ч)	0,1 дБ

Рассмотрим определение допустимых потерь на трассе для восходящей и нисходящей линий.

Расчет восходящей радиолинии осуществляется в несколько этапов.

1. Минимально допустимый уровень сигнала на входе приемника БС определяется из (2.7):

$$P_{нрБС}(\text{дБм}) = P_{ш}(\text{дБм}) + (E_b/N_0)_{\text{треб}}(\text{дБ}) - G_{обр} + L_n - G_{хо}(\text{дБ}), \quad (2.9)$$

где $(E_b/N_0)_{\text{треб}}$ – требуемое значение E_b/N_0 ; $G_{обр}$ – выигрыш от обработки; $P_{ш}$ – уровень собственных шумов приемника; L_n – запас на внутрисистемные помехи; $G_{хо}$ – выигрыш за счет мягкого хэндовера.

Важное значение имеет коэффициент шума $K_{ш}$ приемника базовой станции. Уровень шумов приемника БС можно определить по формуле (2.6).

Выигрыш от обработки для скорости передачи R , принимая величину W скорости следования чипов равной 3,84 Мчип/с, составляет:

$$G_{обр} = W/R \text{ (количество раз)}, \text{ или } G_{обр} = 10 \cdot \lg\left(\frac{W}{R}\right) \text{ (дБ)}, \quad (2.10)$$

где $R_{чип}$ – чиповая скорость стандарта UMTS; R – скорость передачи данных пользователя.

В (2.9) учтен выигрыш за счет мягкого хэндовера и запас на внутрисистемные помехи. Величину выигрыша за счет мягкого хэндовера G_{xo} выбирают из диапазона значений 1–3 дБ. Величину запаса на внутрисистемные помехи определяют из выражения (2.8). Допустимым значением величины относительной загрузки соты обычно считается 50 %.

2. Требуемый уровень принимаемого сигнала определяется выражением

$$P_{np} = P_{npBC} + L_{фидер} - G_{BC} + L_{ff} \text{ (дБм)}, \quad (2.11)$$

где $L_{фидер}$ – потери в фидере, дБ (как правило, длину и тип фидера выбирают таким образом, чтобы значение затухания в нем составляло не более 3 дБ); G_{BC} – коэффициент усиления антенны базовой станции [12], дБ; L_{ff} – запас на быстрые замирания, дБ (обычно значение L_{ff} принимается равным 3 дБ).

3. Эффективно излучаемый уровень сигнала мобильной станции определяется выражением

$$P_{изМС} = P_{МС} + G_{МС} - L_{тело} \text{ (дБм)}, \quad (2.12)$$

где $P_{МС}$ – уровень сигнала передатчика мобильной станции; $G_{МС}$ – коэффициент усиления антенны мобильной станции, величина которого обычно принимается равной 0 дБ; $L_{тело}$ – потери на затухание в теле абонента.

Для расчетов при передаче телефонных сигналов величину параметра $L_{тело}$ принимают обычно равной 3 дБ. Необходимо заметить, что, как правило, потери на затухание в теле учитываются для голосовых типов услуг и могут не учитываться для услуг по передаче данных.

4. Допустимые потери на трассе равны

$$L = P_{изМС} - P_{np}. \quad (2.13)$$

Расчет нисходящей радиолинии также осуществляется в виде последовательных этапов.

1. Минимально допустимый уровень сигнала на входе приемника мобильной станции определяется выражением, аналогичным (2.7):

$$P_{npМС}(\text{дБм}) = P_{ш}(\text{дБм}) + (E_b/N_0)_{треб}(\text{дБ}) - G_{обр}(\text{дБ}). \quad (2.14)$$

Приемник МС более простой, чем приемник БС, в нем используются более простые компоненты, следовательно, его коэффициент шума выше. Для стандарта UMTS коэффициент шума приемника МС должен иметь значение < 9 дБ.

Уровень собственных шумов приемника МС определяется по формуле (2.6).

2. Минимально допустимый уровень сигнала на входе приемника МС, с учетом запаса на внутрисистемные помехи и выигрыша от мягкого хэндовера, равен

$$P_{npMC}(\text{дБм}) = P_u(\text{дБм}) + (E_b/N_0)_{треб}(\text{дБ}) - G_{обр} + L_n - G_{xo} \text{ (дБ)}, \quad (2.15)$$

где P_u – уровень собственных шумов приемника; $(E_b/N_0)_{треб}$ – требуемое значение E_b/N_0 ; $G_{обр}$ – выигрыш от обработки; L_n – запас на внутрисистемные помехи.

Обычно принимается, что сота в нисходящей линии загружена так же, как и в восходящей. Тогда величина $L_n = 3$ дБ, а величина G_{xo} – выигрыш за счет мягкого хэндовера – составляет 2–3 дБ.

3. Требуемый уровень принимаемого сигнала определяется выражением

$$P_{np} = P_{npMC} + L_{мело} - G_{МС} + L_{ff} \text{ (дБм)}. \quad (2.16)$$

4. Уровень эффективно излучаемого сигнала БС

$$P_{изБС} = P_{БС} + G_{БС} - L_{фидер} \text{ (дБм)}, \quad (2.17)$$

где $P_{БС}$ – уровень сигнала передатчика базовой станции на кодовый канал; $G_{БС}$ – коэффициент усиления антенны базовой станции; $L_{фидер}$ – потери, обусловленные затуханием в фидере [4].

5. Допустимые потери на трассе

$$L = P_{изБС} - P_{np}. \quad (2.18)$$

В данном расчете не учитывались затенения сигнала препятствиями (зданиями, деревьями и т. д.), затухания, вносимые стенами зданий для абонентов, находящихся внутри помещений. Величина этого запаса влияет на величину вероятности обслуживания в соте.

Статистический анализ измерений уровня принимаемого радиосигнала показывает, что величина потерь L в каждой конкретной точке между базовой и мобильной станциями на любом расстоянии может рассматриваться как случайная величина, которая подчиняется нормальному гауссовскому распределению относительно среднего значения потерь.

$$L(d) = L_{cp}(d) + X_\delta \text{ (дБ)}, \quad (2.19)$$

где X_δ – случайная величина, имеющая нормальное распределение, со средним значением 0 и среднеквадратичным отклонением δ .

Тогда на входе приемника имеем

$$P_{np}(d) = P_{np} - L(d) \text{ (дБ)}. \quad (2.20)$$

Для нахождения вероятности обслуживания в соте необходимо задать величину среднеквадратичного отклонения и степень потерь модели распространения n . В случае если требуется учесть обслуживание абонентов внутри помещений, необходимо задать величину потерь при проникновении в здание. Следующее выражение определяет вероятность обслуживания в соте. Вероятность обслуживания в соте – вероятность того, что уровень принимаемого сигнала P_{np} примет значение, большее значения минимально допустимого уровня сигнала x_0 :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \left[1 - \operatorname{erf}(a) + e^{\frac{1-2 \cdot a \cdot b}{b^2}} \cdot \left(1 - \operatorname{erf}\left(\frac{1-a \cdot b}{b}\right) \right) \right], \quad (2.21)$$

$$a = \frac{x_0 - P_{np}}{\delta \cdot \sqrt{2}}, \quad (2.22)$$

$$b = \frac{10 \cdot n \cdot \lg(e)}{\delta \cdot \sqrt{2}}, \quad (2.23)$$

где P_{np} – уровень принимаемого сигнала; x_0 – минимально допустимый уровень сигнала (величина $x_0 - P_{np}$ является искомым запасом на медленные замирания); δ – среднеквадратичное отклонение; n – степень потерь; $\operatorname{erf}(x)$ – функция ошибок, $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$.

Характерные значения величины среднеквадратичного отклонения и степени потерь представлены в табл. 2.3 [14].

Таблица 2.3

Значения величины среднеквадратичного отклонения и степени потерь для различных типов местности

Тип местности	n	$\delta_{outdoor}$	δ_{indoor}
Сельская местность	3,2	8	-
Пригород	3,5	8	4
Город	3,5	7	5
Плотная городская застройка	4	7	6

Суммарное среднеквадратичное отклонение при учете потерь за пределами помещения и внутри помещения можно оценить как

$$\delta = \sqrt{\delta_{indoor}^2 + \delta_{outdoor}^2} \text{ (дБ)}. \quad (2.24)$$

Требование к вероятности нахождения в зоне обслуживания – 90 %. Постепенно повышая величину запаса можно добиться требуемого значения вероятности. Результаты расчета представлены в виде табл. 2.4.

Таблица 2.4

Зависимость вероятности обслуживания в соте от значения запаса на медленные замирания

Запас на медленные замирания $x_0 - P_{np}$, дБ	Вероятность обслуживания в соте, p
6	0,9
7	0,915
8	0,929
9	0,942
10	0,953

Таким образом, требуемое значение запаса на медленные замирания для 95 % вероятности обслуживания равно $L_{sf} = 10$ дБ, для 90 % – 6 дБ.

Так как при распространении сигналов присутствуют и другие виды препятствий, то необходимо ввести величину допустимых потерь на трассе. Данная величина вносит корректировку в величину максимальных потерь, то есть предъявляет более жесткие требования к радиолинии. Величина максимально допустимых потерь на трассе равна

$$L_{\max} = L + L_{sf} + L_{zd}, \quad (2.25)$$

где L – допустимые потери на трассе; L_{sf} – значение запаса на медленные замирания; L_{zd} – потери на проникновение в здание.

Для расчета зоны обслуживания или радиуса соты выбирают меньшее из значений максимально допустимых потерь в восходящей или нисходящей линии.

Расчет компонент потерь в сотовых системах связи включает в себя расчет потерь при распространении радиоволн, определение потерь в элементах базовой и абонентской станций и др. Существует несколько методик для оценки величины потерь при распространении радиоволн между БС и АС. Одна из наиболее простых моделей – модель Окамуры – Хаты. Параметры основной модели опираются на значение следующих параметров в условиях города [6]: диапазон частот $150 \text{ МГц} \leq f \leq 1500 \text{ МГц}$; дальность связи (расстояние БС – АС) $1 \text{ км} < R \leq 20 \text{ км}$; высота подъема антенны БС $30 \text{ м} < H_{BC} < 200 \text{ м}$; высота подъема антенны АС $1 \text{ м} < H_{AC} < 10 \text{ м}$ (АС находятся на улице).

При таких условиях расчетная формула Хаты для медианной величины потерь L (дБ) имеет вид

$$L = 68,8 + 27,76 \cdot \lg(f) - 13,82 \cdot \lg(H_{BC}) + \\ + [44,9 - 6,55 \cdot \lg(H_{BC})] \cdot \lg(R) - (1,1 \cdot \lg(f) - 0,7) \cdot H_{AC}. \quad (2.26)$$

Обозначим для упрощения части этого выражения следующим образом

$$C = 68,8 + 27,76 \cdot \lg(f) - 13,82 \cdot \lg(H_{BC}) - (1,1 \cdot \lg(f) - 0,7) \cdot H_{AC}, \quad (2.27)$$

$$B = 44,9 - 6,55 \cdot \lg(H_{BC}). \quad (2.28)$$

В результате получим запись

$$L = C + B \cdot \lg(R). \quad (2.29)$$

Из (2.29) окончательно получаем выражение для расстояния:

$$R = 10^{\frac{L-C}{B}}. \quad (2.30)$$

Исходя из вышеуказанных ресурсов радиолинии, расстояние до границ ячейки R можно вычислить по известной модели распространения, например с использованием моделей Окумуры – Хаты, COST231 – Хаты, Уолфиша – Икегами [6].

Модель COST231 – Хаты справедлива для расчетов в диапазоне частот от 1500 до 2000 МГц, при высоте антенны БС от 30 до 200 м, антенны АС – от 1 до 10 м и на расстояниях между АС и БС от 1 до 30 км. При расчете затухания L для этой модели используются следующие формулы:

$$L = 46,3 + 33,9 \cdot \lg(f) - 13,82 \cdot \lg(H_{BCэф}) - \alpha(H_{MC}) + [44,9 - 6,55 \cdot \lg(H_{BCэф})] \cdot \lg(R) + D, \\ \alpha(H_{MC}) = (1,1 \cdot \lg(f) - 0,7) \cdot H_{AC} - 1,56 \cdot \lg(f) - 0,8, \quad (2.31)$$

где $H_{BCэф}$ – эффективная высота подвеса антенны БС; H_{AC} – эффективная высота подвеса антенны АС; R – расстояние, км; D – постоянная, значение которой для средних городов и пригородных районов равно 0, для центров крупных городов $D = 3$ дБ; $\alpha(H_{MC})$ – коэффициент, который используется при расчетах в сельской местности и пригородных районах.

Коэффициенты B и C для определения радиуса соты для модели COST231 – Хаты будут равны

$$C = 46,3 + 33,9 \cdot \lg(f) - 13,82 \cdot \lg(H_{BC}) - \alpha(H_{AC}) + D, \quad (2.32)$$

$$B = 44,9 - 6,55 \cdot \lg(H_{BC}). \quad (2.33)$$

Для расчета покрытия находят требуемый уровень пилотного сигнала (служебный канал CPICH), определяющий потери на трассе. Таким образом, по уровню CPICH можно судить о доступности того или иного сервиса. Обычно уровень пилотного сигнала составляет 10 % от суммарной мощности передатчика БС. Примем величину выходного уровня сигнала БС, равного 43 дБм. Соответственно уровень пилотного сигнала равен $P_{CPICH} = 33$ дБм.

Уровень принимаемого пилотного сигнала для доступности услуги должен составлять

$$P_{прCPICH} = P_{изБС} - L_{max} + (P_{CPICH} - P_{БС}) \text{ (дБм)}, \quad (2.34)$$

где $P_{изБС}$ – уровень эффективно излучаемого сигнала БС на кодовый канал; L_{max} – максимально допустимые потери на трассе; $P_{БС}$ – уровень сигнала передатчика БС на кодовый канал; P_{CPICH} – уровень пилотного сигнала БС.

При расчетах использованы исходные данные из табл. 2.1, причем уровень сигнала передатчика БС на кодовый канал выбран из табл. 2.5.

Таблица 2.5

Уровень сигнала передатчика БС на кодовый канал

Тип услуги	Телефония, 12,2 кбит/с	Видеотелефония, 64 кбит/с	Передача данных, 144 кбит/с	Передача данных, 384 кбит/с
Максимальный уровень сигнала передатчика на канал, дБм	34,2	37,2	40	40

Результаты расчета сведены в табл. 2.6 с учетом потерь в теле человека, равных 0 дБ.

Таблица 2.6

Бюджет радиолиний со скоростью 384 кбит/с

Характеристика	Восходящая линия	Нисходящая линия
1	2	3
Приемная сторона	Базовая станция	Мобильная станция
Спектральная плотность шума, дБм/Гц	-174	-174
Коэффициент шума приемника, дБ	3	8
Спектральная плотность шума приемника, дБм/Гц	-171	-166
Уровень собственных шумов приемника, дБм	-105,0	-100,0
Требуемое отношение E_b/N_0 , дБ	1,7	4,8

Окончание табл. 2.6

1	2	3
Выигрыш от мягкого хэндовера (макроразнесение), дБ	2,0	2,0
Выигрыш от обработки, дБ	10,0	10,0
Запас на внутрисистемные помехи, дБ	3,0	3,0
Минимально допустимый уровень сигнала на входе приемника, дБм	-112,3	-104,2
Потери в фидере, дБ	3,0	0,0
Коэффициент усиления антенны, дБ	18,0	0,0
Запас на быстрые замирания, дБ	3,0	3,0
Требуемый уровень принимаемого сигнала, дБм	-124,3	-101,2
Передающая сторона	Мобильная станция	Базовая станция
Уровень сигнала передатчика, дБм	21	40
Потери в кабеле, дБ	0	3
Коэффициент усиления антенны, дБ	0	18
Уровень эффективно излучаемого сигнала, дБм	21	55
Максимально допустимые потери на трассе, дБ	145,3	156,2
Потери на проникновение в здание, дБ	15	15
Запас на медленные замирания, дБ	6	6
Допустимые потери на трассе, дБ	124,3	135,2
Требуемое значение уровня пилотного сигнала (CPICH), принимаемого МС, дБм	-72,5	

Исходя из выражений (2.9)–(2.18) и (2.31), в табл. 2.7 и 2.8 приведены результаты расчета радиуса зоны обслуживания для услуги передачи данных со скоростями 384 кбит/с и 144 кбит/с. Необходимо отметить, что за реальный радиус зоны обслуживания принимается меньшее значение в одном из направлений передачи МС → БС или БС → МС.

Таблица 2.7

Радиус зоны обслуживания при скорости передачи 384 кбит/с

Тип застройки	Направление передачи	Радиус зоны обслуживания, км		
		Вне помещения		В помещении
		Стационарный абонент	В движении со скоростью 3 км/ч	Стационарный абонент
1	2	3	4	5
Урбанизированный город	БС → МС	4,22	3,47	0,88

1	2	3	4	5
Урбанизированный город	МС → БС	2,07	1,70	0,43
Пригород	БС → МС	7,12	5,85	1,48
	МС → БС	3,49	2,87	0,73

Таблица 2.8

Радиус зоны обслуживания при скорости передачи 144 кбит/с

Тип застройки	Направление передачи	Радиус зоны обслуживания, км		
		Вне помещения		В помещении
		Стационарный абонент	В движении со скоростью 3 км/ч	Стационарный абонент
Урбанизированный город	БС → МС	5,59	4,59	1,16
	МС → БС	2,77	2,28	0,58
Пригород	БС → МС	9,43	7,75	1,96
	МС → БС	4,68	3,85	0,97

2.5. Расчет предельной емкости соты

В радиосети WCDMA все соты системы используют одну и ту же частоту, поэтому емкость данной системы ограничена помехами и числом используемых кодов. Следовательно, допустимая емкость системы не должна приводить к росту внутрисистемных помех выше заданного уровня. Оценим предельную емкость соты, при которой уровень внутрисистемных помех стремится к бесконечности и покрытие соты уменьшается до 0. Предельную емкость соты можно получить из выражения для относительной загрузки соты.

Для восходящей линии относительная загрузка соты может быть определена с помощью выражения [14]

$$\eta_{ul} = \sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k R_k \nu}} \cdot (1 + i), \quad (2.35)$$

где K_N – количество пользователей; W – скорость передачи чипов в WCDMA (3,84 Мчип/с); ρ_k – требуемое отношение E_b/N_0 (при проведении расчетов подставляется значение в размах) для пользователя с номером k ; R_k – скорость передачи данных пользователя с номером k ; ν – коэффициент занятия услуги; i – отношение I_{oth}/I_{own} , I_{oth} – принятая мощность сигнала от абонентов окружающих сот, I_{own} – принятая мощность сигнала от абонентов обслуживающей соты, i характеризует «изоляция» соты.

В случае обслуживания абонентов с одинаковой скоростью для одного вида передаваемой информации формула (2.35) для определения относительной загрузки соты может быть представлена в виде

$$\eta_{ul} = \frac{K_N}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k \cdot \gamma}} \cdot (1 + i). \quad (2.36)$$

Из выражения (2.36) при $\eta_{ul} = 1$ может быть найдена предельная емкость соты, или количество одновременных соединений, при условии работы пользователей с одинаковой скоростью передачи R_k :

$$N_{пр} = \text{int} \left(\left(1 + \frac{G_{обр}}{\frac{E_b}{N_0}} \cdot \frac{1}{v} \right) / (1 + i) \right), \quad (2.37)$$

где $G_{обр}$ – выигрыш от обработки (количество раз); E_b/N_0 – требуемое отношение (количество раз).

Оценим значения предельной емкости соты для предоставляемых типов услуг: голосовая телефония, видеотелефония, передача данных со скоростью 144 кбит/с, передача данных со скоростью 384 кбит/с.

В табл. 2.9 представлены типичные значения величины i для различных типов сот.

Таблица 2.9

Значения величины i для различных типов сот

Пикосота внутри помещения	Микросота с ненаправленной антенной	Макросота с ненаправленной антенной	Двух-секторная БС	Трех-секторная БС	Шести-секторная БС
0,1–0,2	0,25–0,55	0,45	0,55	0,65	0,85

Для хорошо изолированных сот (indoor, пикосоты) значение i очень мало и составляет около 0,1. Соответственно, для макросот значение i увеличивается в связи с возможным перекрытием зон обслуживания. Также заметно влияние количества секторов в соте на увеличение i , это связано с тем, что для многосекторных БС используются антенны с более узкой диаграммой направленности и, следовательно, с большим коэффициентом усиления, соответственно зона обслуживания такой БС возрастает.

Величина v – коэффициент занятия услуги. Данный коэффициент описывает отношение времени передачи данных пользователя к общему времени занятия канала в случае применения прерывистой передачи (DTX). Типичное значение величины данного коэффициента для телефонии составляет

50 %, так как принимается, что половину разговора занимают паузы. Для расчетов значения данного коэффициента выбрано 67 % с учетом запаса на передачу каналов сигнализации (DPSSN), который принят равным 17 %. Для услуг, предоставляющих передачу данных, коэффициент занятия услуги принимается равным 100 %, так как канал для передачи данных резервируется и используется абонентом только в период самой передачи.

Результат расчетов предельной емкости в восходящей линии представлен в табл. 2.10. При расчетах были приняты значения E_b/N_0 (см. табл. 2.1).

Таблица 2.10

Предельная емкость соты N_{np} в восходящей линии

Тип услуги, скорость передачи	Предельная емкость соты, или количество одновременных соединений (пользователей)
Телефония, 12,2 кбит/с	104
Видеотелефония, 64 кбит/с	24
Передача данных, 144 кбит/с	12
Передача данных, 384 кбит/с	4

Предельную теоретическую емкость соты для нисходящей линии можно также вычислить из выражения для относительной загрузки соты в восходящем канале:

$$\eta_{dl} = \sum_{k=1}^{K_N} \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k \cdot \gamma}} \cdot ((1 - \alpha) + i). \quad (2.38)$$

В случае обслуживания абонентов с одинаковой скоростью для одного вида передаваемой информации формула (2.40) для относительной загрузки соты может быть представлена в виде

$$\eta_{dl} = \frac{K_N}{1 + \frac{W}{\rho_k \cdot R_k \cdot \gamma}} \cdot ((1 - \alpha) + i). \quad (2.39)$$

В отличие от формулы для относительной загрузки соты в восходящей линии, в данном выражении используется параметр α – коэффициент ортогональности в нисходящем канале. В радиointерфейсе WCDMA используются ортогональные коды Уолша переменной длины в нисходящей линии для разделения каналов пользователей. В случае отсутствия многолучевости ортогональность этих каналов сохраняется. Однако в многолучевом радиоканале ортогональность кодов нарушается. Следовательно, возрастает уровень внутрисистемных помех. Потеря ортогональности нисходящих каналов характеризуется значением величины α . Данная величина оказывает значительное влияние на площадь покрытия и емкость соты в

нисходящем канале. Идеальная ортогональность означает, что взаимная корреляция всех каналов равна 0, следовательно, нежелательные каналы могут быть полностью отделены от полезной информации в приемнике МС. Коэффициент ортогональности, равный 1, соответствует идеальной ортогональности нисходящих каналов. Значение 0 соответствует полной потере ортогональности нисходящих каналов. Обычно коэффициент ортогональности принимает значения от 0,4 до 0,9 в многолучевых радиоканалах. При расчетах значения задаются неким постоянным коэффициентом ортогональности, зависящим от типа местности, класса базовой станции, типа радиоканала.

Типы местности часто используются в различных инструментах для планирования, а также при расчетах, для того чтобы характеризовать среду распространения. В случае открытого типа местности (случай прямой видимости) всегда присутствует основная компонента сигнала и относительно низкий уровень прочих компонент. Следовательно, в этом случае коэффициент ортогональности будет максимальным. В случае городского типа местности (плотная застройка) обычно нет прямой видимости между передающей антенной БС и антенной МС, соответственно, на вход приемника поступает множество отраженных компонент с различными величинами задержек, вследствие этого ортогональность нисходящих каналов уменьшается, что отражается в уменьшении коэффициента α для данного типа местности. Значения коэффициента ортогональности, в зависимости от типа местности, представлены в табл. 2.11 [2].

Таблица 2.11

Среднее значение коэффициента ортогональности в зависимости от типа местности

Тип местности	Открытая местность	Пригород	Город	Плотная застройка
Коэффициент ортогональности	0,825	0,65	0,525	0,4

Тип БС также влияет на коэффициент ортогональности. Для макроБС коэффициент ортогональности выбирается в зависимости от типа местности, где расположена БС. Так как в городских условиях антенна БС обычно располагается ниже уровня застройки, зона обслуживания такой соты значительно меньше. В данном случае можно принять, что сигнал не будет сильно подвержен влиянию многолучевости ввиду меньшего количества отражений и влияния дифракции. Как результат, коэффициент ортогональности выше в микросотах, чем в зоне обслуживания макроБС. Зависимость коэффициента ортогональности от типа БС отражена в табл. 2.12.

В случае пикосот, или БС, расположенных в помещениях, коэффициент ортогональности еще выше, так как обычно в таких случаях используется распределенная антенная система с множеством антенн, следовательно, почти всегда антенна МС находится в прямой видимости от передающей антенны БС.

Для расчетов значение коэффициента ортогональности принято равным 0,6, так как в случае пикосот тип местности рассматриваемого участка сети можно принять как «плотная городская застройка», то есть предполагается значительное влияние многолучевости на распространение сигнала БС.

Таблица 2.12

Средние значения коэффициента ортогональности в зависимости от типа базовой станции

Тип БС	Макросота	Микросота	Пикосота
Коэффициент ортогональности	0,5–0,6	0,8	0,9

Предельная емкость соты, то есть количество одновременных соединений (пользователей), может быть получено из формулы

$$N_{пр} = \text{int} \left(\left(1 + \frac{G_{обр}}{\frac{E_b}{N_0}} \cdot \frac{1}{v} \right) / ((1 - \alpha) + i) \right). \quad (2.40)$$

Для расчетов предельной емкости использовались следующие исходные данные, представленные в табл. 2.13.

Таблица 2.13

Исходные данные для расчета предельной емкости соты в нисходящей линии

Тип услуги, скорость передачи	Коэффициент занятия услуги v	Требуемое значение E_b/N_0 для приемника МС, дБ	Выигрыш от обработки, дБ	α	i
Телефония, 12,2 кбит/с	0,57	7,9	25	0,6	0,65
Видеотелефония, 64 кбит/с	1	5	18		
Передача данных, 144 кбит/с	1	4,7	14		
Передача данных, 384 кбит/с	1	4,8	10		

Результаты расчетов приведены в табл. 2.14.

Предельная емкость соты $N_{пр}$ в нисходящей линии

Тип услуги, скорость передачи	Предельная емкость соты, или количество одновременных соединений (пользователей)
Телефония, 12,2 кбит/с	84
Видеотелефония, 64 кбит/с	19
Передача данных, 144 кбит/с	9
Передача данных, 384 кбит/с	4

Относительная загрузка соты для нескольких предоставляемых услуг будет равна

$$\eta = \sum_i^n \frac{N_i}{N_{i пр}}, \quad (2.41)$$

где η – относительная загрузка соты; n – количество предоставляемых услуг; N_i – среднее количество одновременно занятых каналов передачи для услуги i ; $N_{i пр}$ – предельная емкость соты, или количество одновременных соединений, для услуги i .

Расчеты проводятся отдельно для восходящей и нисходящей линий. При расчете используются значения $N_{i пр}$, определенные по формуле (2.37) или (2.40). В качестве значений N_i используется среднее количество одновременно занятых каналов передачи. Для трафика с коммутацией каналов (телефония, видеотелефония) среднее количество одновременно занятых каналов – это трафик в эрлангах. Для трафика с коммутацией пакетов (передача данных) среднее количество одновременно занятых каналов – это трафик T в эрлангах, умноженный на пик-фактор $PF=1,4$:

$$N_i = T \cdot PF. \quad (2.42)$$

Например, величину загрузки из формулы (2.41) для услуг 1–4 можно записать как

$$\eta = \frac{T_1 \cdot N}{N_1} + \frac{T_2 \cdot N}{N_2} + \frac{T_3 \cdot N \cdot 1,4}{N_3} + \frac{T_4 \cdot N \cdot 1,4}{N_4}, \quad (2.43)$$

где T_1 – T_4 – нагрузка, создаваемая одним абонентом для услуг 1–4; N_1 – N_4 – предельная емкость соты (предельное количество одновременных соединений) для услуги 1–4; N – количество пользователей, обслуживаемых сотой для конкретного вида услуги.

Относительную загрузку соты, как правило, ограничивают величиной 50 %. Тем не менее на начальном этапе развертывания сети приемлемо допустить относительную загрузку соты равной 60 %.

2.6. Варианты заданий для выполнения контрольных работ

2.6.1. Определение потерь при распространении радиосигналов

Расчеты выполняются по формулам, представленными в подразд. 2.4. Следует записать необходимую формулу, затем обязательно произвести подстановку числовых данных и представить результат расчета. Выполнить расчет радиуса зоны обслуживания в восходящей или нисходящей радиолиниях. Данные для расчета выбираются из табл. 2.15–2.18 в соответствии с четырехзначным номером варианта. Во всех вариантах расчета величину коэффициента усиления антенны МС принять равной 0 дБ, величину запаса на быстрые замирания L_{ff} – равной 3 дБ, запаса на внутрисистемные помехи L_n – равной 2 дБ. Для расчетов при передаче телефонных сигналов величину параметра $L_{тело}$ принять равной 3 дБ, в остальных случаях этот параметр равен 0. Потери мощности в элементах антенно-фидерного тракта БС принять равными 3 дБ.

При решении задачи с вариантом расчета 1111 исходные данные будут выглядеть следующим образом: уровень сигнала передатчика базовой станции $P_{БС}$ равен 38 дБм; уровень сигнала передатчика мобильной станции $P_{МС}$ равен –10 дБм; коэффициент усиления антенны БС $G_{БС}$ – 14 дБ; коэффициент шума приемника $K_{ш}$ – 3 дБ; значение параметра E_b/N_0 для нисходящей линии – 7,9 дБ; значение параметра E_b/N_0 для восходящей линии – 4,4 дБ; вид информации – телефония со скоростью передачи 12,2 кбит/с; выигрыш за счет мягкого хэндовера $G_{хо}$ – 1 дБ; частота сигнала в радиодиапазоне от МС к БС – 1920 МГц; частота сигнала в радиодиапазоне от БС к МС – 2110 МГц; эффективная высота подвеса антенны БС $H_{БС}$ – 30 м; высота подвеса антенны АС $H_{АС}$ – 1,5 м; параметр i – 0,25. Значения остальных, не указанных выше параметров выбрать самостоятельно.

Таблица 2.15

Параметры оборудования сотовой сети связи

Первая цифра номера варианта	Уровень сигнала передатчика базовой станции $P_{БС}$, дБм	Уровень сигнала передатчика мобильной станции $P_{МС}$, дБм	Коэффициент усиления антенны БС $G_{БС}$, дБ	Коэффициент шума приемника $K_{ш}$, дБ
1	38	–10	14	3
2	40	–15	24	3,6
3	33	–6	25	2
4	45	–12	18	2,7
5	48	–17	15	2,3

Таблица 2.16

Значения параметров E_b/N_0 для нисходящей и восходящей линий
и скорости передачи R_k

Вторая цифра номера варианта	Значение E_b/N_0 для нисходящей линии, дБ	Значение E_b/N_0 для восходящей линии, дБ	Вид информации, скорость передачи R_k , кбит/с
1	7,9	4,4	Телефония, 12,2 кбит/с
2	5	2	Видеотелефония, 64 кбит/с
3	4,7	1,4	Передача данных, 144 кбит/с
4	4,8	1,7	Передача данных, 384 кбит/с
5	7,9	4,4	Телефония, 12,2 кбит/с

Таблица 2.17

Значения параметра G_{xo} и частот сигналов в направлении от МС к БС
и от БС к МС

Третья цифра номера варианта	Выигрыш за счет мягкого хэндовера G_{xo} , дБ	Частота сигнала в направлении от МС к БС, МГц	Частота сигнала в направлении от БС к МС, МГц
1	2	1920	2110
2	2,5	1980	2170
3	3	1940	2130
4	2,2	1960	2150
5	2,8	1930	2120

Таблица 2.18

Значения параметров эффективных высот подвеса антенн БС и АС
и параметра i

Четвертая цифра номера варианта	Эффективная высота подвеса антенны БС H_{BC} , м	Высота подвеса антенны АС H_{AC} , м	Параметр i
1	30	1,5	0,25
2	20	2	0,4
3	35	1	0,6
4	15	1,8	0,65
5	24	3	0,15

2.6.2. Определение пропускной способности

В процессе расчетов, которые выполняются по формулам, представленным в подразд. 2.5, необходимо рассчитать относительные загрузки и предельные емкости соты для нисходящей и восходящей линий. Данные для расчетов выбираются из табл. 2.19–2.21 в соответствии с номером варианта. Например, при решении первой задачи с вариантом расчета 111 исходные данные будут выглядеть следующим образом: значение параметра $E_b/N_0 = 6,165$ (количество раз) для нисходящей линии; значение параметра $E_b/N_0 = 2,754$ (количество раз) для восходящей линии; количество пользователей $K_N = 15$; коэффициент занятия услуги $\nu = 0,67$; коэффициент ортогональности в нисходящем канале $\alpha = 0,825$; параметр, который характеризует «изоляцию» соты, $i = 0,25$; вид информации – сигнал телефонии со скоростью передачи $R_k = 12,2$ кбит/с.

Таблица 2.19

Значения параметров E_b/N_0 для нисходящей и восходящей линий

Первая цифра номера варианта	Значение E_b/N_0 для нисходящей линии, (количество раз)	Значение E_b/N_0 для восходящей линии, (количество раз)
1	6,166	2,754
2	3,162	1,584
3	2,951	1,38
4	3,02	1,479
5	6,166	2,754

Таблица 2.20

Значения параметров ν , α и i сотовой сети связи

Вторая цифра номера варианта	Коэффициент занятия услуги ν	Коэффициент ортогональности α в нисходящем канале	Параметр, который характеризует «изоляцию» соты, i
1	0,67	0,825	0,65
2	1	0,65	0,3
3	1	0,525	0,55
4	1	0,65	0,5
5	0,67	0,45	0,48

Таблица 2.21

Значения параметров K_N и R_k сотовой сети связи

Третья цифра номера варианта	Количество пользователей K_N	Вид информации, скорость передачи R_k , кбит/с
1	15	Телефония, 12,2 кбит/с
2	30	Видеотелефония, 64 кбит/с
3	20	Передача данных, 144 кбит/с
4	25	Передача данных, 384 кбит/с
5	67	Телефония, 12,2 кбит/с

В процессе проведения расчетов следует определить, будет ли превышена предельная емкость соты в восходящей или нисходящей радиоперелиниях при том количестве пользователей, которые указаны в табл. 2.21. Используя условия заданного варианта, определить количество пользователей K_N , при обслуживании которых относительная загрузка соты будет равна 0,5 (50 %), что рекомендуется поддерживать на практике для сетей сотовой связи. Сделать выводы.

3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЧАСТОТНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

3.1. Развитие средств радиопланирования и основные задачи, решаемые программными комплексами

Бурное развитие беспроводных технологий передачи данных и звуковых сообщений за последние 30 лет привело к появлению целого класса программных средств для их планирования (систем радиопланирования). На начальном этапе развития таких сетей, особенно аналоговых, основным назначением планирования был расчет зон радиопокрытия и на их основе анализ необходимого количества оборудования и станций. Современные технологии радиосвязи значительно усложнились, появилось много разных стандартов как для сетей передачи данных, так и для голосовой связи, и зачастую эти сети представляют собой набор различных технологий в рамках одного стандарта. Более того, сегодня операторы связи используют сразу несколько технологий в одной сети, например GSM/WCDMA, GSM/CDMA2000 и т. д., соответственно и средства планирования должны отражать особенности этих технологий и их совместного применения. Изменились сети, изменились и требования к продуктам для планирования. Новое поколение систем планирования сетей позволяет не просто рассчитывать покрытие, но и решать оптимизационные задачи, оценивать ключевые показатели сети, прогнозировать абонентскую нагрузку и ее распределение, в том числе между подсистемами разных стандартов. В условиях возрастающей конкуренции на рынке все операторы сталкиваются с одной и той же проблемой: необходимостью значительного повышения емкости сети при одновременном снижении издержек на строительство – и все это с сохранением высокого качества услуг для своих клиентов.

Все эти задачи решают системы и программные комплексы радиочастотного планирования (РЧПЛ) Mentum Planet (производства французской компании Mentum [5]), Atoll, RPLS (Россия, г. Санкт-Петербург) и др., позволяя операторам связи не только с наименьшими затратами построить сеть радиосвязи, но и наиболее рационально использовать все возможности в будущем применительно не только к существующим, но и к будущим радиотехнологиям.

Системы РЧПЛ предназначены для комплексного частотно-территориального планирования и технико-экономической оптимизации сетей наземной фиксированной и сухопутной подвижной радиосвязи на этапах их проектирования и развертывания, а также в процессе оптимизации сетей в процессе их эксплуатации и модернизации, в том числе при переходе на новые, более совершенные радиотехнологии. Основой РЧПЛ является программный комплекс, который обеспечивает оптимальное и независимое от поставщиков

оборудования решение всех задач планирования и оптимизации современных систем наземной фиксированной и сухопутной подвижной радиосвязи.

Система Mentum Planet имеет достаточно длительную историю, которая отражает ее успех на международном рынке. Первая версия Planet была выпущена в 1992 г. компанией Mobile Systems International (MSI), в Великобритании для операционной системы Unix. Затем система претерпела несколько значительных усовершенствований и к концу 1990-х гг. выпускалась под названием Planet DMS. По имеющимся оценкам, большинство сетей GSM во всем мире в 1990-е гг. были спланированы с помощью этих версий системы. В 2000 г. система перешла во владение к концерну Marconi Wireless, который выпустил еще более усовершенствованную версию Planet EV уже для операционной системы Windows. С 2006 г. системой владел концерн Ericson, но в 2007 г. производственное подразделение Planet EV было приобретено французской компанией CTS International (разработчиком системы УИС Ellipse). В результате этой сделки компания CTS International была переименована в компанию Mentum, которая в настоящее время выпускает два своих основных программных комплекса: Mentum Planet и Mentum Ellipse [5].

3.2. Архитектура и основные особенности системы Mentum Planet

Программный комплекс Mentum Planet является чрезвычайно большим и разветвленным программным комплексом, выполняющим множество различных функций.

Основными характеристиками Mentum Planet являются [5]:

- высокоточный расчет распространения радиоволн за счет использования лучших в своем роде моделей распространения – Planet General Model, CRC Predict, Universal Model и др.;
- быстрый, надежный и гибкий анализ сетей GSM/GPRS/EDGE, включая интерактивный и автоматизированный расчет взаимных помех с учетом особенностей технологий, в том числе с применением систем со скачкообразным изменением частоты и с использованием кодеков AMR;
- уникальный анализатор качественных показателей сети (Performance Analyzer – симулятор Монте-Карло для сетей GSM/GPRS/EDGE), позволяющий получить быструю оценку влияния изменений в сети на заданные ключевые показатели;
- гибкие возможности по управлению и расчету трафика, построению карт трафика, расчету прогнозируемой нагрузки и необходимого для ее обслуживания оборудования; перераспределение трафика в сети при изменении настроек, запуске новых сегментов и технологий, изменении профиля абонента; учет использования уменьшенных тарифов, требуемого качества обслуживания, анализ блокировок;
- продвинутые функции статистического анализа;

- новые модули расчета сетей WCDMA с полной поддержкой HSPA, включая статический и статистический алгоритмы симуляции, мощные функции анализа пилотного сигнала и влияния помех в каждой точке;
- многофункциональный модуль загрузки результатов измерений, позволяющий не только использовать данные измерений для калибровки моделей распространения радиоволн, но и комбинировать данные измерений с расчетным покрытием для повышения точности последнего;
- полная интеграция с лучшими в своей области партнерскими решениями, такими как продукты оптимизации от компаний Schema и Symena, продвинутая модель распространения радиоволн Universal Model (научно-исследовательский центр France Telecom – Orange Labs), комплекс проектирования локальных радиоподсистем RF-vu (компания iBWave);
- встроенная полноценная геоинформационная система (ГИС) на базе широко известного пакета Mapinfo Professional;
- современная программная платформа Microsoft.NET Framework, позволяющая достичь высокой производительности расчетов при оптимальном использовании аппаратных ресурсов, включая использование многоядерных процессоров и 64-битных операционных систем;
- возможность построения централизованной или распределенной многопользовательской системы планирования в масштабах крупной организации на базе уникального серверного решения Mentum Planet Data Manager;
- открытые и хорошо документированные программные интерфейсы для увязки Mentum Planet с системами инвентаризации и другими приложениями.

Некоторые из этих характеристик кратко описаны подразд. 3.5.

3.3. Моделирование условий распространения радиоволн

Моделирование условий распространения радиоволн является краеугольным камнем системы планирования. От точности моделирования напрямую зависят расчеты покрытия и все последующие результаты анализа сети. Существует большое количество способов расчета покрытия, по сути это различные математические описания распространения и затухания сигнала в пространстве. Наиболее известными моделями являются модели Окамуры – Хаты, Уолфиша – Икегами, Ли, Рекомендация МСЭ-R P. 1546, заменившая широко используемую ранее Рекомендацию МСЭ-R P. 370 [5, 9, 10]. Все эти модели включены в большинство систем радиопланирования.

Программный комплекс Mentum Planet считается наиболее точным среди продуктов своего класса. Помимо вышеуказанных «академических» моделей, Mentum Planet предлагает дополнительные высокоточные модели распространения радиоволн, специально адаптированные для планирования сетей сухопутной подвижной связи и распределительных сетей. Модель Planet General Model, которая

была разработана еще компанией «MSI», является статистической моделью, основанной на алгоритме Окамуры – Хаты, но при этом в ней используется ряд дополнительных коэффициентов, позволяющих достаточно точно настроить ее для того или иного сегмента сети на основе измеренных уровней сигналов. Другой усовершенствованной моделью является CRC–Predict [5], разработанная Канадским научно-исследовательским центром связи. Это детерминистская модель для планирования макросот, которая обеспечивает достаточно хорошие результаты без настройки по результатам измерений, что позволяет широко применять ее на стадии первичного планирования сети.

Наиболее инновационной в настоящее время моделью распространения в составе Mentum Planet считается Universal Model, разработанная научно-исследовательским центром France Telecom (Orange Labs). Эта модель включает в себя сразу несколько алгоритмов, которые автоматически применяются для разных типов местности (городская, лесная, горная) и сот (микросоты, макросоты).

Существенной особенностью Universal Model является учет городской застройки. При наличии детальных трехмерных карт местности с контурами строений модель может учитывать распространения между домами, внутри домов (с аппроксимацией потерь внутри здания), а также канальное распространение вдоль городских улиц. Следует особо отметить высокую скорость и точность расчетов Universal Model.

Современные операторы подвижной связи используют несколько технологий в одной сети, например GSM/WCDMA, GSM/CDMA2000, GSM/LTE и т. д. Наиболее широко используемыми в настоящее время технологиями сухопутной подвижной связи и распределительных сетей являются GSM (с расширением GPRS и EDGE), WCDMA (с расширением HSPA), CDMA2000 (с расширением EV-DO), WiMAX различных диапазонов и спецификаций, а также новая беспроводная технология LTE. Совместное использование разных технологий в одной сети должно находить отражение в комплексе радиопланирования. Mentum Planet позволяет не только вести учет базовых станций нескольких технологий в одном проекте, но и автоматически рассчитывать переходы между базовыми станциями разных стандартов, например GSM и UMTS, учитывать перераспределение трафика и т. д. Под поддержкой программы той или иной технологии понимается учет особенностей этой технологии при анализе работы сети, например, взаимные помехи между базовыми станциями зависят от типа доступа к радиоинтерфейсу. Особенности технологии также учитываются при описании сети связи в программе и при осуществлении ее настроек для анализа работы сети. Это касается как физических параметров сети (покрытие, взаимные помехи), так и качественных оценок (емкость, статистика работы). Весьма важным при поддержке технологий является оперативность отражения в планировщике расширений для существующих стандартов. В сетях второго поколения Mentum Planet поддерживает GPRS и EDGE, а также использует

кодеки AMR. Для сетей стандарта WCDMA система обеспечивает возможность рассчитывать HSDPA и HSUPA.

Система Mentum Planet построена таким образом, что при появлении какой-то новой радиотехнологии или нового расширения в систему может быть включен соответствующий новый модуль, моделирующий работу сети в новых условиях. Таким образом, пользователю системы гарантируется ее актуальность на многие годы вперед.

3.4. Анализ работы сети и моделирование нагрузки при частотно-территориальном планировании

На основе расчетов покрытия программный комплекс Mentum Planet позволяет проанализировать различные характеристики работы сети: взаимные помехи, качество, вероятность обслуживания и т. д., а также рассчитать необходимые сетевые параметры. Показатели, по которым оценивается сеть, зависят от стандарта. Рассмотрим анализ работы сети в Mentum Planet на примере группы стандарта UMTS.

Первая группа процедур анализа – расчет матриц покрытия сети и обслуживания базовых станций: рассчитываются уровни сигналов, которые задают покрытие каждой базовой станции, а также карта наилучшего обслуживающего сектора (Best Server), показывающая зоны обслуживания каждого сектора сети. Следует отметить, что все уровни рассчитываются не только на основе физических параметров оборудования, но и с учетом настроек сети. Например, для уровня наилучшего обслуживающего сектора учитываются приоритеты секторов, которые используются в сетях для управления распределением трафика. Далее, в зависимости от потребностей, могут быть рассчитаны и другие параметры, например требуемая мощность мобильной станции.

Вторая большая группа процедур анализа – оценка качества радиоинтерфейса сети, связанного со взаимными помехами. На основе наилучшего обслуживающего сектора рассчитывается матрица помех, которая показывает для каждой точки исследуемой поверхности соотношение сигналов от всех близлежащих секторов. Матрица помех может быть дополнена информацией статистического характера, например данными отчетов системы управления сетью. Возможно создание комбинированных матриц помех, на основе которых может быть составлен частотно-территориальный план или списки соседей, также возможен расчет худшего частотного канала, числа частот, подверженных помехам, среднего соотношения сигнал/помеха по всем каналам и т. д.

Последней группой процедур анализа является оценка качества предоставляемых услуг, вероятности обслуживания, эффективности схемы кодирования для передачи данных. Эти показатели рассчитываются с учетом всех настроек сети и дают представление о том, как будет работать

планируемая сеть. Также имеется возможность рассчитать, где и какие будут использоваться схемы кодирования для передачи данных, какова вероятность обслуживания, какие услуги по передаче данных могут быть предоставлены в каждой точке покрытия.

Все три группы анализируемых параметров позволяют в конечном итоге оценить, как будет работать планируемая сеть связи в терминах ключевых показателей. При необходимости имеется возможность произвести подобный анализ для нескольких вариантов построения или расширения сети, а также при использовании тех или иных параметров или оборудования. Mentum Planet позволяет представить результаты любой части расчетов в виде таблицы Excel, что даст возможность сравнивать не только графически, но и численно все результаты для принятия того или иного решения.

Точное моделирование нагрузки на сеть со стороны абонентов является ключевым для оценки сетевых помех и текущей производительности сети. Mentum Planet позволяет спрогнозировать влияние на показатели сети нагрузки со стороны разных типов пользователей и сгенерировать на этой основе детальные карты трафика (географическое распределение абонентской нагрузки в сети), которые затем используются для частотно-территориального планирования и решения задач оптимизации, например при помощи соответствующего программного модуля Carcsso.

Примеры расчета зон покрытия на территории населенного пункта Республики Беларусь с помощью программы Mentum Planet (Universal Model) для стандарта UMTS приведены в цветной вклейке (рис. 1.3–1.7). На данных рисунках полутонами отмечены зоны с различными градациями уровней напряженности поля или других параметров. Анализ полученных результатов показывает, что представленным количеством базовых станций (общее число составляет 14) можно обеспечить достаточно высокое качество обслуживания среднего по численности пользователей населенного пункта.

Программа Mentum Planet включает в себя «организатор» абонентов, который дает возможность с высокой точностью имитировать поведение разных групп абонентов в сети.

Организатор абонентов учитывает такие параметры, как местоположение абонентов, условия работы (внутри помещения, на улице), мобильность и предоставляемые услуги (речевая связь, передача данных, доступ в Интернет и др.).

Mentum Planet включает в себя встроенные частотные планировщики – автоматический и интерактивный. Последний позволяет вручную вносить изменения в частотно-территориальный план с его динамическим пересчетом в режиме реального времени. Частотно-территориальный план может рассчитываться с различными параметрами и с использованием карт трафика, в этом случае все помехи, которых невозможно избежать, будут перемещаться на зоны с меньшим трафиком, то есть оптимизация может вестись по критерию трафика, или по критерию площади обслуживания.

Дополнительно может использоваться продвинутый частотный планировщик Renaissance, разработанный совместно с научно-исследовательским центром France Telecom (Orange Labs). Renaissance обладает рядом дополнительных преимуществ, таких как возможность частичного пересчета частотно-территориального плана, оптимизация сценария для смешанных услуг, услуг типа голосовая связь или пакетная передача данных.

В дополнение к возможностям частотного планировщика Renaissance программа Mentum Planet имеет функцию анализа качества работы сети Performance Analysis. Данная функция позволяет оценить показатели статистики сети на основе моделирования работы абонентов в сети. Performance Analysis также позволяет моделировать использование кодеков AMR. Для каждого кодека определяются варианты его использования в зависимости от электромагнитной обстановки, после чего анализируется эффективность использования кодека в сети.

Автоматический планировщик конфигурации сети (АПК) – это полностью интегрированный в Mentum Planet модуль оптимизации. Он позволяет автоматически рассчитать конфигурацию сети (расположение и типы антенно-фидерных устройств, азимут и угол наклона основного лепестка диаграммы направленности антенны, мощность излучения и т. д.) и необходим на всех стадиях развития сети.

Процедура работы модуля АПК основана на использовании электронных карт, расчетов покрытия и карт трафика Mentum Planet. Критерии оптимизации выбираются математически между стоимостью решения, выполнимостью и возможным количеством допустимых изменений, вносимых в топологию сети. Новая (оптимизированная) конфигурация сети доступна в Mentum Planet для анализа и дальнейшей работы. Таким образом, в случае необходимости модуль АПК позволяет быстро подготовить план улучшения существующей топологии сети.

Помимо конфигурации сети, модуль АПК формирует план работ на реальных объектах, эти планы обеспечивают более быструю и эффективную реализацию по сравнению с традиционными работами по модернизации. План переоборудования или изменения конфигурации сети для улучшения параметров, созданный с помощью модуля АПК, экономит до 90 % времени по сравнению с ручной подготовкой.

Модуль АПК обеспечивает автоматическое планирование конфигурации сети для всех наиболее широко используемых радиостандартов, таких как GSM/GPRS/EDGE, CDMA2000/1xEV-DO, WCDMA/HSPA и WiMAX, а также LTE. Кроме того, возможна одновременная оптимизация сети, работающей сразу в нескольких стандартах.

Mentum Planet обеспечивает эффективное моделирование распределительных сетей класса WiMAX, включая версии 802.16d и 802.16с, OFDM/OFDMA, разнесенный прием и адаптивные антенные системы. Аналогичным образом реализована поддержка и новейшего стандарта LTE,

причем поддерживаются обе технологии доступа – FDD и TDD. Точное моделирование OFDM/OFDMA достигается путем детального анализа работы поднесущих и подканалов и рядом других средств. Mentum Planet для WiMAX и LTE включает в себя инновационную процедуру анализа помех с учетом эффекта коллизий пакетов передачи данных, управления мощностью, адаптивной модуляцией и т. д.

Mentum Planet поддерживает новейшие расширения стандартов 4G: SMART-антенны, технологии MIMO (A, B), фазированные антенные решетки и антенны с изменяемым направлением основного лепестка. Пользователь может моделировать мобильные технологии, например, оценивая зоны перехода и генерируя списки соседей для каждого сектора сети.

Библиотека БГУИР

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С момента появления сотовой связи наблюдается непрерывный рост числа абонентов и расширение спектра предоставляемых услуг. Каждое следующее поколение сетей мобильной связи характеризуется принципиально новыми технологическими возможностями. Основными причинами их динамичного развития является возрастающая потребность пользователей в высокоскоростных услугах, а также снижение капитальных затрат на передачу единицы трафика.

Более 290 операторов развернули сети третьего поколения (или 3G) UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) в 129 странах мира (более 150 сетей в Европе). В Республике Беларусь продолжается развитие сетей UMTS операторов СООО «Мобильные ТелеСистемы», ИП «Велком» и ЗАО «БеСТ». Парк мобильных терминалов 3G насчитывает более 1500 различных типов устройств и постоянно растет.

Актуальность исследования сетей UMTS связана с постоянным ростом трафика в мобильных сетях и необходимостью расширения пропускной способности, увеличения скорости обработки данных и качества предоставления сервиса передачи данных. Сети стандарта UMTS обладают большими ресурсами для последующей модернизации и расширения полосы и дальнейшего перехода к технологии четвертого поколения LTE. Оборудование базовых станций и контроллеров базовых станций входит в состав радиосетей, которые для стандарта UMTS используют радиointерфейс UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network), и играет центральную роль в процессе передачи данных от абонента и обратно.

Важное практическое значение приобретают процедуры планирования радиосетей стандарта UMTS, которые обычно включают в себя определение емкости, особенностей территориального покрытия и их оптимизацию на сети.

Развитие систем радиосвязи и беспроводного доступа при передаче сообщений привело к появлению целого класса программных средств для их планирования – систем радиочастотного планирования (РЧПЛ). Новое поколение систем планирования сетей позволяет не просто рассчитывать покрытие, но и решать оптимизационные задачи, оценивать ключевые показатели сети, прогнозировать абонентскую нагрузку и ее распределение, в том числе между подсистемами разных стандартов. Операторы сотовых сетей при использовании РЧПЛ решают проблемы, связанные с необходимостью значительного повышения емкости сети при одновременном снижении издержек на строительство – и все это с обязательным условием сохранения высокого качества услуг для своих клиентов.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- АПК – автоматический планировщик конфигурации сети
АРУ – автоматическая регулировка уровня
АС – абонентская станция
АФТ – антенно-фидерный тракт
БС – базовая станция
БФМ – бинарная фазовая модуляция
КФМ – квадратурная фазовая модуляция
КБС – контроллер базовой станции
МП – микропроцессор
МС – мобильная станция
МШУ – малошумящий усилитель
РЧПЛ – радиочастотное планирование
ПЗУ – постоянное запоминающее устройство
ПСП – псевдослучайная последовательность
СВЧ – сверхвысокая частота
ССМС – системы сотовой мобильной связи
ОФМ – относительная фазовая манипуляция
ШПС – широкополосный сигнал
CDMA (Code Division Multiple Access) – кодовое разделение каналов
CN – базовая сеть стандарта UMTS
D-AMPS – стандарт сотовой связи второго поколения
DSP (Digital Signal Processor) – цифровой сигнальный процессор
DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) – прямое расширение спектра
EDGE (Enhanced Data Rates For Global Evolution) – процедура высокоскоростной передачи данных
FHSS (Frequency-Hopping Spread Spectrum) – расширение спектра при скачкообразном изменении несущей частоты
GPRS (General Packet Radio Service) – процедура пакетной передачи информации
GSM – стандарт сотовой связи второго поколения
WCDMA (Wide CDMA) – широкополосная система с CDMA
LTE – стандарт сотовой связи четвертого поколения
HSCSD (High-Speed Circuit-Switched Data) – процедура высокоскоростной передачи данных
PDC/JDC – стандарт сотовой связи второго поколения
TDMA – временное разделение каналов
UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) – стандарт сотовой связи третьего поколения
UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network) – радиointерфейс стандарта UMTS

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихвинский, В. О. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев. – М. : Эко-Трендз, 2007. – 400 с.
2. Overview of 3GPP Release 99 Summary of all Release 99 Features [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.3gpp.org/ftp/tsg_cn/tsg_cn/TSGN_23/Docs/PDF/NP-040010.pdf.
3. NSN WCDMA BTS Overview // Nokia Siemens Networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа : NSN_WCDMA_BTS_Overview.pdf.
4. Единый технический справочник РЭС и ВЧУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ets-res.ru/list/f3853/>.
5. Основы управления использованием радиочастотного спектра. Т. 3 : Частотное планирование сетей телерадиовещания и подвижной связи. Автоматизация управления использованием радиочастотного спектра / под ред. М. А. Быховского. – М. : КРАСАНД, 2012. – 368 с.
6. Мищенко, В. Н. Изучение принципов проектирования систем подвижной радиосвязи стандарта GSM / В. Н. Мищенко. – Минск : БГУИР, 2008. – 42 с.
7. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы / Х. Кааранен [и др.] ; пер. с англ. Н. Л. Бирюкова. – М. : Техносфера, 2007. – 464 с.
8. Невдяев, Л. М. Мобильная связь 3-го поколения / Л. М. Невдяев ; под ред. Ю. М. Горностаева. – М. : Связь и бизнес, 2000. – 208 с.
9. Берлин, А. Н. Цифровые сотовые системы связи / А. Н. Берлин. – М. : Эко-Трендз, 2007. – 296 с.
10. СТБ 1356-2011. Системы сотовой подвижной электросвязи. Основные технические требования. – Минск : Госстандарт, 2011. – 38 с.
11. Flexi WCDMA RF Module and Remote RF Head Description // Nokia Siemens Networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа : Flexi_WCDMA_RF_Module_and_Remote_RF_Head.pdf.
12. Антенны, используемые в сетях стандарта UMTS [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.tssonline.ru/articles2/fix-op/anten-dlya-bazov-stanciy-setey-umts>.
13. Ипатов, В. П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения / В. П. Ипатов. – М. : Мир связи, 2007. – 488 с.
14. Holma, H. WCDMA for UMTS / H. Holma, A. Toskala. – John Wiley & Sons LTD, 2004. – 450 p.
15. NSN BTS Description&Characteristics // Nokia Siemens Networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа : NSN_BTS_Product_Description.pdf.

Учебное издание

Мищенко Валерий Николаевич

**СЕТИ РАДИОДОСТУПА СИСТЕМ СОТОВОЙ РАДИОСВЯЗИ
С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *М. А. Зайцева*

Корректор *Е. И. Герман*

Компьютерная правка, оригинал-макет *В. М. Задоля*

Подписано в печать 24.11.2016. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 3,84. Уч.-изд. л. 4,0. Тираж 80 экз. Заказ 78.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,

№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.

ЛП №02330/264 от 14.04.2014.

220013, Минск, П. Бровки, 6