

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра Телекоммуникационные системы

Специальность 6М071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Допущен к защите

Зав. кафедрой Шагиахметов Д.Р.

« _____ » _____ 2014 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

пояснительная записка

Тема: «Исследование влияния мобильности абонентской станции на скорость передачи данных в технологии WCDMA»

Магистрант _____ Мищенко С.А.
подпись (Ф.И.О.)

Руководитель к.т.н, ст.преп _____ Ефремова Ю.И.
подпись (Ф.И.О.)

Рецензент к.т.н _____ Липская М.А.
подпись (Ф.И.О.)

Консультант по ВТ к.х.н _____ Данько Е.Т.
подпись (Ф.И.О.)

Нормоконтроль к.х.н. _____ Кудинова В.С.
Подпись (Ф.И.О.)

Алматы 2014г.

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет Многоканальные телекоммуникационные системы

Специальность Радиотехники, электроники и телекоммуникации

Кафедра Телекоммуникационные системы

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Мищенко Сергей Александрович

(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации Исследование влияния мобильности абонентской станции на скорость передачи данных в технологии WCDMA

утверждена Ученым советом университета №142 от « 31.10.2013 »

Срок сдачи законченной диссертации « 25 » 12.2013

Цель исследования Исследование влияния скорости и направление движения на передачу данных в технологии WCDMA и анализ полученных данных для выявления оптимальных условий .

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

Основные положения Технологии UMTS. Основные проблемы и их решения в технологии WCDMA. Экспериментальная часть.

Исследование скорости передачи данных при различном направлении движения к антенне и от антенны.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей) Гистограмма зависимости скорости перемещения абонента на передачу данных при движении от антенны.

Гистограмма зависимости скорости перемещения абонента на передачу данных при движении к антенне.

Сравнение скорости передачи от направления движения

Рекомендуемая основная литература

1. Chevallier C. WCDMA (UMTS) Deployment Handbook. England
2. Кааранен Х. Сети UMTS. Техносфера, 2008 – 468 с.
3. HSDPA/HSUPA for UMTS. High Speed Radio Access for Mobile Communications. Ericsson Networks. Sweden

Г Р А Ф И К

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Анализ литературы, посвященной передаче данных в сетях мобильной связи	04.11.2012	Выполнено
Факторы влияющие на передачу данных	22.01.2013	Выполнено
Планирование эксперимента, выбор места проведение	14.09.2013	Выполнено

эксперимента		
Проведение эксперимента	05.11.2013	Выполнено
Анализ и обработка полученных данных при проведении эксперимента	15.11.2013	Выполнено

Дата выдачи

задания 05.09.2012

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

(Коньшин С.В.)

(Ф.И.О.)

Руководитель диссертации _____

(подпись)

(Ефремова Ю.И.)

(Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению

магистрант _____

(подпись)

(Мищенко С.А.)

(Ф.И.О.)

Аңдатпа

Магистрлік диссертация WCDMA технологиясының жұмысына арналған. Осы жұмыста мәліметтерді беру үшін жылжымалы желіні қолданудың өзектілігіне анализ жасалды. Радио сигналдың берілудің негізгі мәселелері қарастырылды. WCDMA технологиясындағы мәліметтердің беріліс жылдамдығына абоненттік станцияның қозғалғыштығының әсерін анықтау мақсатымен тәжірибе өткізілген. UMTS жылжымалы желісінің негізгі сапалық параметрлері есептелінді.

Аннотация

Магистерская диссертация посвящена работе технологий мобильной передачи данных WCDMA. В данной работе была проанализирована актуальность использования мобильной сети для передачи данных. Рассмотрены основные проблемы передачи радио сигнала. Проведен эксперимент, исследующий влияние мобильности абонентской станции на скорость передачи данных в технологии WCDMA. Проведены расчеты основных параметров качества мобильной сети UMTS.

Abstract

Master's thesis work is devoted to mobile data technologies WCDMA. In this paper we analyzed the relevance of the use of mobile data networks. The main problems of the radio signal transmission. An experiment examining the impact of mobile subscriber station data rate technology WCDMA. The calculations of the basic parameters of the quality of the mobile network UMTS.

Введение

Необходимость своевременного получения информации диктуется требованиями необходимыми для продуктивной работы. А именно поддержанием удовлетворительного уровня качества связи и высокой скорости передачи данных. Данные требования выдвигаются как на законодательном уровне, так и потребностями пользователей. Развитие мобильного интернета позволяет находиться в движении и не зависеть от определенного места с физической линией связи. Радиочастотное соединение дает доступ к сети, но не является стабильным и безотказным. Используемые технологии передачи радиосвязи подвержены множеству сторонних влияний, что позволяет совершенствовать методы передачи данных.

Проблемы, влияющие на передачу данных в технологии WCDMA это задержки и потери. Время пребывания кадра в очереди буфера до момента его передачи. Задержка до получения первоначального доступа к каналу с множественным доступом и задержка перед передачей внесенная протоколами сети. Так же вносят задержку передача кадров при разности возможности частотного диапазона на скорость передачи. Возникновение задержки возможны так же и в физической линии связи на определенном участке в сети. Обработка и подготовка кадра к передаче занимает время из-за помехоустойчивого кодирования и согласование потоков с различным качеством, а так же шифрованием. Длительные задержки возникают при сборке пакета на принимающей стороне. При работе с беспроводными сетями стоит отметить большое количество ошибок не свойственных проводным сетям. Причины их возникновения такие эффекты как замирание сигнала и его затухание, которые приводят к потере кадров и увеличивают время обработки и уменьшают качество передаваемых данных. Влияние скорости движения мобильной абонентской станции на передачу данных исследовались недостаточно. Так недостаточно исследовались и изменения при движении к антенне и движение от нее.

Технология WCDMA является одной из перспективных из-за сочетания возможностей передачи голоса и данных в хорошем качестве. Так же развитие новых и более совершенных приложений позволяет использовать ряд уникальных возможностей, таких как видео звонок и передачу данных на скоростях приближенных к проводным провайдерам. Что доказывает актуальность модернизации данной технологии связи.

Настоящая диссертация в основном раскрывает особенности влияния скорости и направления движения на передачу данных и на изменение качество передачи данных при изменении этих составляющих

Целью данной работы является анализ влияния мобильности абонентской станции на скорость передачи данных в технологии WCDMA. Для этого необходимо провести следующие исследования:

- Анализ актуальности использования мобильной сети для передачи данных в технологии WCDMA;

- Рассмотреть основные проблемы для построения сети и пути их решения;

- Рассмотреть принципы построения, архитектуру и функции сети;

- Провести анализ основных параметров сети UMTS;

- Экспериментальная оценка передачи данных при различных скоростях и направлении движения;

- Произвести расчет основных параметров качества мобильной сети UMTS.

1 Теоритическая часть

1.1 Основные положения технологии UMTS

Сеть третьего поколения использующая технологию сотовой связи UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Главным отличиям сетей UMTS третьего поколения от сетей GSM второго поколения является использование широкополосных сигналов, и использование широкополосной технологии множественного доступа с кодовым разделением каналов Wideband Code Division Multiple Access.

Главным изменением и различием к GSM и другими функционирующими на сегодняшний день сетями мобильной связи UMTS обладает уникальной особенностью, а именно то, что она позволяет согласовывать различные характеристики радиоканала доступа как передатчик информации, В-канала. Такими характеристиками передачи могут служить пропускная способность, задержка при передаче и ошибки FER и BER. Для успешной работы системы, UMTS может поддерживать широкий спектр приложений, удовлетворяющий самым разным требованиям к качеству обслуживания (QoS). Каналы-переносчики информации UMTS должны иметь общие стандарты для возможности на должном уровне обеспечивать существующие приложения и способствовать развитию новых приложений. Поскольку в большинстве своем современные приложения представляют собой приложения, связанные с Интернетом или N-ISDN, естественно, что эти приложения и услуги определяют в первую очередь процедуры для управления каналом-переносчиком информации (В-каналом).

Приоритетным направлением для системы третьего поколения является мультимедийная связь: при их использовании мобильное оборудование получает возможность обеспечивать высококачественную передачу изображений и видеоданных, а доступ к информации и услугам по сетям общего пользования и частным сетям значительно расширен за счет более высоких скоростей передачи и новых возможностей в отношении гибкости связи, которыми обладают системы третьего поколения. Все это вместе с продолжающимся развитием систем второго поколения будет создавать новые возможности в области передачи данных не только для изготовителей аппаратуры и операторов, но также и для пользователей сети и провайдеров информационного наполнения и прикладных программ.

WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) - широкополосный метод множественного доступа с кодовым разделением. Эта технология представляет собой разновидность метода CDMA (Code Division Multiple Access). Основным его отличием от CDMA является дополнительная этап обработки кадров, проводимая до передачи сигнала в эфир – расширение.

Базовые принципы построения сети UMTS основаны на разделении двух аспектов: физическое создание отдельных сетевых блоков и формирования функциональных связей между ними. При этом задачи физические построение

сетевых блоков решается, исходя из концепции области (domain), а функциональные связи рассматриваются в рамках слоя (stratum).

Первичным разделением на физическом уровне является разделение архитектуры сети на две отдельные области: на область пользовательского оборудования (User Equipment Domain) и область сетевой инфраструктуры (Infrastructure domain.).

Пользовательское оборудование - это совокупность пользовательских терминалов (ПТ) с различными уровнями функциональных возможностей, используемых абонентами мобильных устройств для доступа к UMTS услугам. Так же, ПТ могут быть совместимы с другими технологиями, помимо UMTS, интерфейсами доступа, например, работать в совмещенном GSM-режиме и при различных ситуациях переключатся между ними.

Область пользовательского оборудования, в свою очередь, подразделяется на область мобильного оборудования (Mobile Equipment Domain) и область мобильного пользователя (User Services Identity Module Domain), реализуемую в виде сменяемых идентификационных карт. Сопряжение областей (подобластей) принято идентифицировать логическими опорными (контрольными) точками, которые физически реализуются соответствующими интерфейсами. Так, опорная точка, находящаяся на стыке областей мобильного оборудования и мобильного пользователя.

Мобильное оборудование как физический объект предназначено для выполнения операций приёма-передачи сообщений, а также содержит в себе набор встроенных приложений. В соответствии с этим, область мобильного оборудования может быть разделена еще на два модуля: оконечный мобильный терминал (Mobile Termination), отвечающий за прием и передачу радиосигналов, и терминальное оборудование (Terminal Equipment), позволяющее реализовывать так называемые “сквозные” (в смысле маршрута передачи данных) приложения, например, подключать к ПТ переносной компьютер, факс-модем и др. В отличие от разделения на области, разделение на функциональные модули, как правило, не сопровождается идентификацией опорными точками.

В область мобильного пользователя относят данные и относящиеся к ним процедуры, позволяющие идентифицировать сетевого абонента, либо наоборот, отказать ему в доступе в сеть по каким-либо причинам. Как обычно, такие данные и процедуры реализованы в идентификационной карте, выдаваемой пользователю при приобретении ПТ.

Важно для темы диссертации рассмотреть общие принципы WCDMA более подробно. На первом этапе данные, полученные от источника информации, подвергаются расширению. В данном случае речь идет о расширении спектра сигнала, основная цель которого распределить энергию сигнала в широкой полосе частот. Это достигается путем перемножения каждой единицы полезного сигнала на специальную расширяющую последовательность. Эта процедура получила название spreading. Благодаря этим действиям, емкость сигнала увеличивается, уменьшается длина

импульсов и, следовательно, увеличивается занимаемая частотная полоса. После расширения производится аналогичная CDMA (Code Division Multiple Access) процедура: кодирования сигнала выбранным ортогональным кодом. Данная процедура необходима для дальнейшего разделения источников информации на приемном конце и выделения необходимого сигнала.

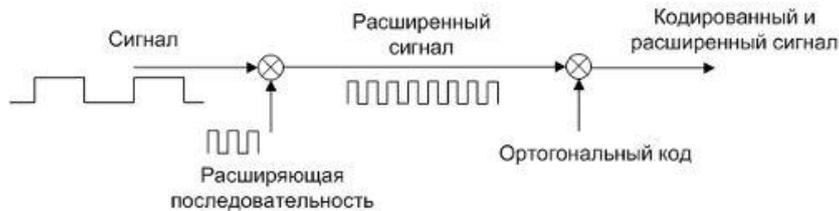


Рисунок - 1 Структура передатчика WCDMA

На участке производится та же процедура, но в обратном порядке. Сначала сигнал декодируется, чтобы отделить его от ортогонального кода и убедиться что сообщение адресовано именно этому устройству. После этого получатель сообщения выполняет процедуру обратную расширению - *despreading* (сжатие). При этом сигнал умножается на выбранную последовательность, инверсную расширяющей, т.е. "1" заменены на "0", а "0" на "1". Эта процедура позволяет извлечь полезный сигнал и сузить его спектр для дальнейшей передачи его получателю информации.

Ключевая цель операции расширения заключается в снижении степени влияния узкополосных (селективных) помех, которые в великом множестве представлены в радиозфире, особенно в зонах активности электромагнитных помех. На сигнал с узким спектром, например как в стандарте GSM (технологии TDMA (Time Division Multiple Access) и FDMA (Frequency Division Multiple Access)), такие помехи могут привести к значительным искажениям, что может повлечь увеличение количества ошибок и частичную или полную потерю полезной информации. Для широкополосного сигнала селективные помехи не страшны, т.к. они могут нанести вред лишь очень малой, незначительной части полезного сигнала, которые можно восстановить благодаря многоканальности. Небольшие потери сигнала легко компенсируются с помощью существующих методов защиты от ошибок, в то время как потери больших частей информации приведут к систематическим повторам передачи и увеличенным задержкам в доставке информации. Так же, широкополосность сигнала позволяет увеличить безопасность, потому что итоговая мощность сигнала оказывается на порядок ниже фоновых шумов и сообщение оказывается не видно на фоне покрывающих помех.

Технология WCDMA положена в основу сети доступа системы сотовой связи стандарта UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Иногда данным термином даже называют саму сеть доступа, хотя в стандарте она называется (UTRAN). Применение WCDMA в UMTS позволило улучшить

механизмы передачи и в 20 раз увеличить скорость передачи данных (до 8Мбит/с), по сравнению со стандартом GSM(384кбит/с).

Влияние, оказываемое на работу связи в движении, можно описать тремя эффектами: интерференцией, флуктуацией, и эффектом Доплера. Эффект интерференционного замирания сигнала может возникать вследствие перемещения объектов с различной скоростью в результате проявления Доплеровского сдвига частоты Δf_d :

$$\Delta f_d = \pm \sqrt{\epsilon_{mp}} \times Vr/c, \quad (1)$$

Где $\epsilon_{тр}$ - электрическая проницаемость среды распространение радиоволн

Vr – радиальная составляющая скорости перемещения объекта;
 c – скорость распространения радиоволн.

Сотовая связь позволяет абоненту быть мобильным и не привязанным к какой-либо географической точке. В первую очередь это возможно благодаря особой структуре сети доступа, а именно из-за того, что на крайнем к абоненту участке сети используется не проводное, а радио соединение. Как и в любой другой системе радиосвязи, сигналы сотовой связи распространяются не в идеальной среде и претерпевают ряд негативных воздействий на пути от базовой станции (BTS) к мобильной станции (MS) абонента. Некоторые из данных проблем можно решить простым увеличением мощности сигнала, а некоторые требуют внедрение сложных алгоритмов в работу приемопередатчиков и установку дополнительных устройств.

Можно выделить следующие основные проблемы, которые возникают при передаче сигналов по радио интерфейсу:

- Затухание сигнала
- Теневые зоны
- Многолучевое распространение сигналов
- Замирания сигнала
- Временные задержки

Некоторые из указанных проблем проявляются практически в любой системе радио связи (затухание сигнала, теневые зоны) и, следовательно, уже существуют варианты решения данных проблем. Однако другие (замирания, многолучевое распространение сигналов) требовали от разработчиков стандарта внедрение новых методов борьбы. Проблемой еще также становится то, что в системах сотовой связи передается трафик реального времени (голос), который не допускает длительных задержек.

Наибольшее число различных алгоритмов борьбы с проблемами распространения сигналов были сделаны в стандарте GSM (Global System for Mobile Communications), т.к. это первая полностью цифровая система связи. Большая часть методов улучшения качества принимаемого сигнала, впервые введенные в данном стандарте применяются и в последующих системах

(UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), LTE (Long Term Evolution) и др.)

2 Типы сетей и технологий работающих в UMTS

2.1 Технология HSDPA

Рабочая группа 3GPP постоянно совершенствует стандарты IMT-2000/UMTS. Технология High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) принадлежит к семейству решений WCDMA/UMTS, использующих пакетную передачу данных, и полностью совместима с UMTS Release 99. Это позволяет одновременно предоставлять сервисы голосовой связи и передачи данных HSDPA и UMTS (более подробно описано в ч. 1 БТ № 1'2011).

Последняя модификация технологии HSDPA позволяет получать максимальную теоретическую скорость передачи данных до 21 Мбит/с в режиме downlink transfer (от базовой к мобильной станции). Фактически HSDPA является «надстройкой» к сетям UMTS, поэтому ее нередко называют поколением 3,5G. Необходимо подчеркнуть, что протоколы HSDPA поддерживают передачу данных только от базовой станции (БС) к мобильной абонентской станции (Mobile Services, MS), получившую название «нисходящая передача данных». Обратная передача данных от абонентской станции (АС) к базовой описывается протоколами HSUPA.

В спецификации 3GPP Release 5 была впервые опубликована архитектура технологии HSDPA [13]. В данном документе для HSDPA описаны алгоритмы адаптивной модуляции и кодирования AMC (Adaptive Modulation and Coding), а также модернизированный метод автоматического запроса повторной передачи ARQ (Automatic Request for Repeat).

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

Для технологии HSDPA в спецификации стандартов 3GPP Release 5 используется новый транспортный канальный уровень High-Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH). В одном поддиапазоне возможна организация до 15 таких каналов с фактором распределения 16. Перераспределение каналов под задачи конкретных пользователей изменяется каждые 2 мс. Реализация этого уровня стала возможной за счет введения в стандарт трех новых физических каналов:

- HS-SCCH (High Speed-Shared Control Channel) — высокоскоростной контрольный канал для информирования пользователя об отправке данных на HS-DSCH (два верхних слота).

- HS-DPCCH (Uplink High Speed-Dedicated Physical Control Channel) — канал для подтверждения информации о доставке текущего контроля качества передачи.

- HS-PDSCH (High Speed-Physical Downlink Shared Channel) — канал, по которому физически передаются данные пользователя (в виде избыточного кода, содержащего собственно данные и дополнительные информационные биты).

В технологии HSDPA реализован ARQ-механизм защиты от помех, при котором передача данных происходит по блокам. На приемной стороне обеспечивается контроль ошибок и генерация запроса о необходимости повторения той части информации, где они были обнаружены. В случае некорректного приема данных в новой технологии FHARQ (Fast Hybrid Automatic Repeat Request) подтверждение приема пакетов отслеживается как базовой, так и абонентской станцией.

Повторные пакеты чередуются со вновь передаваемыми. Оцифрованная информация мультиплексируется и кодируется для передачи по соответствующему физическому каналу. Схема мультиплексирования с временным и кодовым разделением в канале HS-DSCH, объединяющем три транспортных канала DCH 1-3, приведена на рисунке 3. В технологии HSDPA применяются схемы модуляции QPSK (Quadrature Phase-Shifting Keying, квадратурная фазовая модуляция) и 16-, 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation, квадратурная амплитудная модуляция) [8].

При использовании QPSK, в зависимости от значения информационного элемента, изменяется только фаза сигнала, в то время как амплитуда и частота не меняются. При этом каждому информационному биту ставится в соответствие не абсолютное значение фазы, а ее изменение относительно предыдущего значения (рисунке 3).

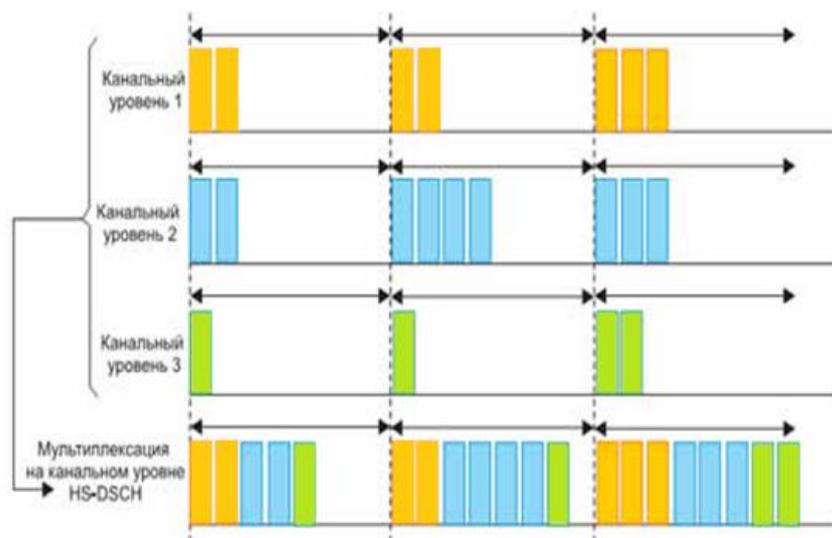


Рисунок 2 - Схема мультиплексирования с временным и кодовым разделением в канале HS-DSCH

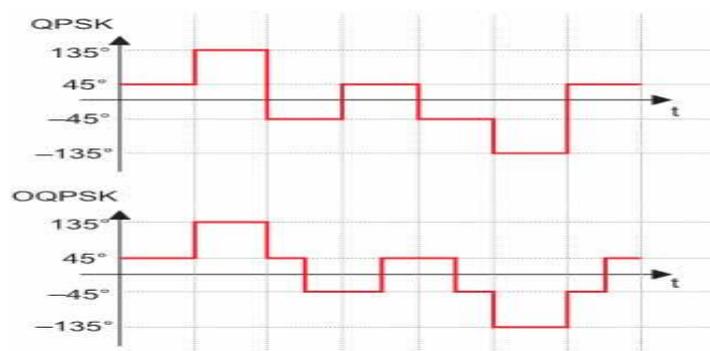


Рисунок 3 - Принцип фазовой модуляции цифрового сигнала

В квадратурной фазовой модуляции используются четыре значения фазы несущего колебания. В этом случае фаза сигнала должна принимать значения 45° , 135° , 225° и 315° , размещенных на равных расстояниях по окружности. При использовании четырех фаз в QPSK на символ приходится два бита. Хотя QPSK можно считать квадратурной модуляцией (QAM-4), иногда ее проще рассматривать в виде двух независимых модулированных несущих, сдвинутых на 90° . При таком подходе четные (нечетные) биты используются для модуляции синфазной составляющей, а нечетные (четные) для квадратурной составляющей несущей.

В схеме QPSK фаза несущего колебания меняется скачкообразно в зависимости от информационного сообщения. QPSK обеспечивает высокую помехоустойчивость. Однако в ряде случаев за счет уменьшения помехоустойчивости канала связи можно увеличить его пропускную способность. Более того, при применении помехоустойчивого кодирования можно более точно планировать зону, охватываемую системой мобильной связи. В другом варианте после канального кодирования и перемежения битов производится преобразование информации с помощью модуляции 16-QAM в так называемые «QAM-ячейки».

В этих случаях каждому комплексному символу модуляции соответствует гармоническое колебание, имеющее одно из 4, 16 или 64 возможных сочетаний амплитуды и начальной фазы или такое же количество кодовых комбинаций, каждое из которых соответствует определенному варианту гармонического колебания.

Например, в случае 4-QAM получим двоичную кодовую комбинацию, содержащую два бита (00, 01, 10, 11). В случае 16-QAM такие комбинации содержат по четыре бита информации, а в случае 64-QAM — по шесть битов. Стандартами UMTS/HSDPA предусмотрено 20 категорий с различными значениями максимального числа одновременно используемых кодов (до 15) и типом модуляции в радиоканале QPSK или QAM. Каждой из этих комбинаций соответствует максимальная скорость передачи данных в пакетном режиме стандарта HSDPA в нисходящем направлении — от БС к мобильному терминалу (таблица 2.1). При увеличении числа позиций QAM пропускная способность канала связи увеличивается в логарифмической пропорции $\log_2 64 / \log_2 16 / \log_2 4$. Однако при этом снижается помехоустойчивость,

поскольку уменьшаются разности между смежными значениями амплитуд и фаз. Пропускная способность каналов связи и скорость передачи зависят от фактора распределения (spreading factor), который определяет количество каналов связи, закодированных в один поддиапазон.

Теоретически UMTS/ HSDPA позволяет назначить три таких «нисходящих» канала для одного абонента. Однако на практике не стоит забывать о том, что чем больше число пользователей, тем меньше пропускная способность. На рис. 3 показано распределение спектра между абонентами сети HSDPA [8,13]. Как правило, одной и той же сетью пользуются одновременно несколько абонентов.

Скорость передачи постоянно меняется, система следит за этим и с интервалом в 2 мс автоматически регулирует мощность, подстраиваясь под условия среды. При этом приоритет предоставления каналов для получения данных от БС отдается тем пользователям, для которых поддерживается наилучшее качество сигнала. Поэтому пользователи, первыми получившие доступ к сети, пока уровень сигнала был невысок, находятся в состоянии ожидания улучшения пропускной способности.

Т а б л и ц а 1 - Скорость передачи в технологии HSDPA в зависимости от типа используемой модуляции

Протокол	Версия 3GPP	Максимальное число кодов HS-DSCH	Модуляция	MIMO, Dual;- Cell	Коэффициент избыточности при максимальном битрейте	Битрейт, Мбит/с		
HSDPA	Release 5	5	16-QAM		0,76	1,2		
							1,2	
							1,8	
							1,8	
							3,6	
							3,6	
		10					0,75	7,2
							0,76	7,2
		15					0,7	10,1
					0,97	14		
	5		QPSK		0,76	0,9		

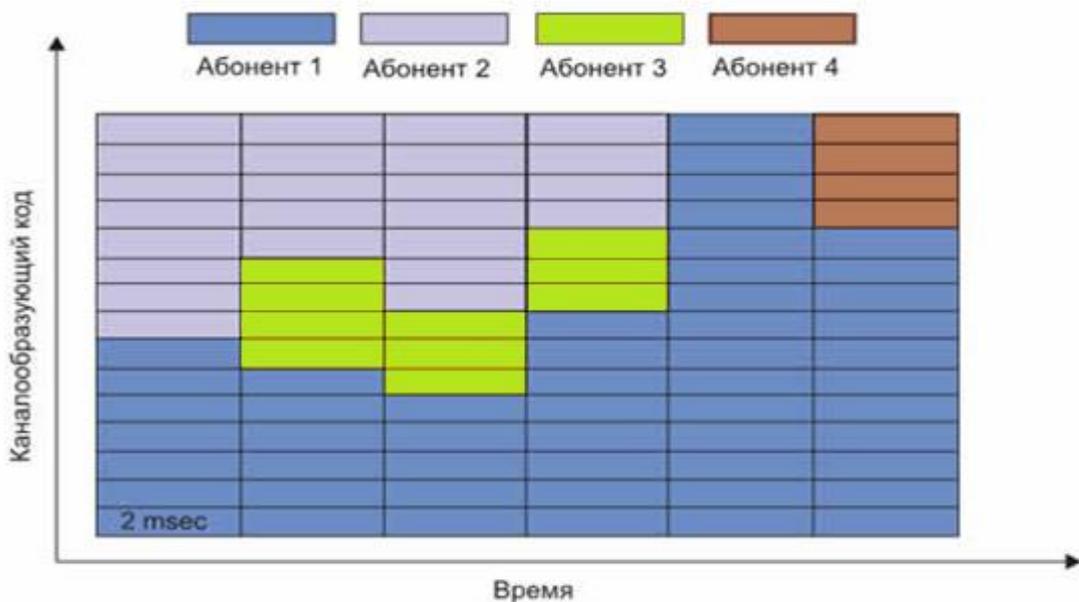


Рисунок 4 - Распределение спектра между абонентами в зависимости от условий приема

2.2 Технология HSUPA

Чтобы регламентировать параметры абонентских станций и определить порядок их взаимодействия с базовыми, была разработана технология HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) — высокоскоростная пакетная передача данных в направлении «вверх» — от абонента к БС. Работу над проектом HSUPA группа 3GPP начала еще в 2002 г. Идея стандарта была сформулирована фирмами Nokia, Samsung, Sony Ericsson и другими лидерами мирового рынка мобильных телефонов и звучала как «максимальная скорость при максимальном радиусе действия и минимальном энергопотреблении». Эта идея была технически сформулирована в 3GPP Release 6. К сожалению, принципиальные различия между передачей данных «вверх» (от АС к БС) и «вниз» (от БС к АС) не позволяют просто использовать всю архитектуру и профили технологии HSDPA для MS (мобильные бытовые телефоны, базовые модули и законченные терминалы). Основная проблема согласования процессов передачи «вверх» и «вниз» заключается в потребляемой мощности. На базовой станции отбираемая мощность передатчика не ограничена в пределах действующих нормативов. Поэтому разработчики оборудования для БС могут совершенствовать технологии передачи, не задумываясь о проблемах потребляемой мощности [8].

Для бытовых мобильных телефонов, которые составляют основную часть этого рынка, потребляемая мощность является одним из основных критериев выигрыша в конкурентной борьбе. При разработке HSUPA были использованы методы как временного, так и канального кодирования. Поскольку значительная часть энергопотребления базовой станции HSDPA приходится именно на эти блоки модуляции, данный метод в чистом виде не может быть использован для HSUPA. Поэтому в технологии HSDPA была

введена функция коррекции мощности передачи в зависимости от условий среды. Это позволяет сохранить скорости передачи при перегрузках в сети в условиях интенсивных помех. Но это оборудование тоже достаточно энергоемкое. Проблема энергопотребления возникает и при модуляциях.

При использовании QAM для улучшения пропускной способности нужно увеличивать ее уровень, но при этом возрастают сложность оборудования и энергопотребление. Другая проблема связана с поэтапной передачей движущейся АС (soft handover). В этом случае принимающая БС должна отслеживать меняющийся сигнал клиента и передавать его другой станции, обеспечивающей лучшие условия приема.

Согласно основному варианту спецификации Release 6, в технологии HSUPA использованы модифицированные принципы, использованные при разработке технологии HSDPA. Однако технология передачи данных «вверх» отличается от технологии передачи «вниз». В редакцию HSUPA 3GPP Release 6 по сравнению с Release 5 были внесены следующие изменения:

а) Добавлены новые объекты MAC-уровня (управления доступом к среде передачи данных):

- MAC-e/es в блоке АС;
- MAC-es в блоке БС;
- MAC-es на контроллере радиосети.

б) В транспортном канале введен новый расширенный выделенный канал передачи данных E-DCH;

в) Добавлен выделенный физический канал E-DPCH (Dedicated Physical Channel). В нем мультиплексированы два физических канала: DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) и DPCCCH (Dedicated Physical Control Channel). Кроме того, добавлены расширенный канал индикации сообщения о доставке (E-HICH), управляющий канал регулировки мощности относительно опорного уровня (E-RGCH) и канал для автоматического регулирования абсолютного значения мощности абонентской станции (E-AGCH);

г) Время инкапсуляции и формирования пакетов данных сокращено до 2 мс. Однако оставлена возможность использования и TTI, равного 10 мс;

д) Значение коэффициента расширения (SF) принято равным 2;

е) Увеличена скорость повторной передачи на первом уровне;

ж) Для контроля факта доставки данных использован гибридный метод HARQ;

з) Введено жесткое управление доступом к эфиру и скоростью передачи со стороны БС;

и) Реализованы новые протоколы фрейма, ускоряющие работу Iub и IuR. Интерфейс Iub соединяет БС с блоком контроллеров, а IuR поддерживает сигнальный протокол RNSAP (Radio Network Subsystem Application Part). По этому интерфейсу организуют связь между обслуживающим (Serving) SRNC и пассивным (Drift) контроллером DRNC. При выполнении хэндовера SRNC осуществляет управление радиоканалами (radio link mapping).

В технологии HSUPA для передачи данных от абонента к базовой станции применяются расширенные выделенные каналы (Uplink Enhanced Dedicated Channel, UE DCH), которые позволяют использовать тот же метод линейной адаптации (Link Adaptation Method, LAM), что и в технологии HSDPA. В свою очередь, этот метод дает возможность реализовать в технологии HSUPA модель ортогонального частотного разделения каналов. При этом последовательный поток информации разбивается на отдельные блоки и символы.

Символы разных блоков передаются параллельно, каждый на своей поднесущей частоте. Преимущество данного метода в том, что он позволяет снизить до минимума межсимвольные искажения, возникающие в радиоканале. За счет уменьшения размеров блока данных удалось сократить время инкапсуляции и формирование пакетов данных [8,13].

На первом уровне в структуре HSUPA введены новые физические каналы:

- E-AGCH (Absolute Grant Channel) — канал с абсолютным значением ограничения мощности абонентской станции, определяющий опорный уровень;
- E-RGCH (Relative Grant Channel) — канал регулировки мощности относительно заданного значения;
- F-DPCH (Fractional-DPCH) — частичный выделенный физический канал, являющийся модернизированным вариантом канала DPCH, адаптированным для высокоскоростной пакетной передачи данных вверх;
- E-HICH (E-DCH Hybrid ARQ Indicator Channel) — индикаторный канал;
- E-DPCCCH (E-DCH Dedicated Physical Control Channel) — контрольный канал передачи данных;
- E-DPDCH (E-DCH Dedicated Physical Data Channel) — контрольный канал состояния данных.

В стандарте HSUPA модернизированы протоколы, обеспечивающие управление ресурсами канала и отвечающие за установление, поддержание и разрыв низкоуровневых соединений, динамический выбор частотных каналов и др. В блоке АС на уровне MAC добавлен подуровень, который отвечает за контроль доставки и покадровый формат данных в процессе их передачи. В блоке БС также введены изменения в уровне, контролирующем факт получения данных. В блок контроллеров (S-RNC) добавлен уровень (MAC-es), поддерживающий повторный запрос на получение данных в случае ошибки.

Кроме того, этот уровень обеспечивает совместную обработку данных, полученных от базовых станций в процессе эстафетной передачи (handover) для одного и того же абонента. Для ускорения работы интерфейсов Iub/IuR также добавлен новый протокол. Кроме того, в HSUPA изменены протоколы управления доступом к среде передачи для БС (MAC-e), АС (MAC-e/es) и блока управляющих контроллеров (MAC-es):

-MAC-e структурирован в блоке базовой станции, он вводится отдельно для каждой абонентской станции и регулирует ее взаимоотношения с базой. В

рамках этого протокола АС запрашивает разрешение на связь с БС и управляет работой повторной передачи в случае ошибки;

-MAC-es в обслуживающем контроллере также вводится персонально для каждой абонентской станции. Он объединяет и преобразовывает протокольный блок данных (Protocol Data Unit) уровня MAC-es в соответствии с кодировками и номерами каждого кадра и подкадра, а также поддерживает операцию дизассемблирования протокольного блока данных MAC-es;

-MAC-e/es для абонентской станции отвечает за сопровождение метода гибридного контроля подтверждения получения данных, мультиплексирование данных и присвоение идентификационной кодовой последовательности абонента (Transmission Sequence Number, TSN) осуществляет выбор транспортного формата передачи данных на основе полученного статуса выхода в эфир.

При передаче данных от абонента к станции, когда используется расширенный выделенный канал, два кодированных композитных транспортных канала CСТrCH используются одновременно. Транспортный канал может быть сконфигурирован так, чтобы время инкапсуляции (интервал передачи) составляло 10 или 2 мс. При этом заданный интервал передачи 10 мс обязательно должен поддерживаться всеми абонентскими станциями, допущенными к работе в сети, а интервал передачи 2 мс является опционным. Каждая АС может иметь только один транспортный выделенный канал передачи данных в конкретный момент времени.

Транспортный блок E-DCH (расширенный выделенный канал) на физическом уровне нагружен на канал E-DPDCH, который работает со временем инкапсуляции 10 или 2 мс. В основополагающей спецификации Release 6 для канала E-DPDCH используется модуляция QPSK. В спецификации Release 7 есть возможность использовать 4-РАМ (Pulse Amplitude Modulation, импульсная амплитудная модуляция). Различные модификации модуляций отражены в последующих спецификациях Release 8.

Поскольку при передаче данных по DPCCН сначала передаются вспомогательные символы и последовательность символов (RSN), то на уровне E-DPDCH не может быть передана никакая другая информация, кроме полезных символьных данных. Для увеличения скорости передачи в канале E-DPDCH применяются комбинации мульти кодов. При этом используются ортогональные коды с переменным коэффициентом расширения, равным 2. В принципе, возможны и другие варианты кодов с переменной длиной, определяемой коэффициентом расширения спектра SF. Такие коды формируются на основе заданного алгоритма, и каждый последующий уровень удваивает число возможных кодовых комбинаций. Различные наборы кодов обуславливают различные скорости передачи. Так, например, один код с коэффициентом расширения SF4 соответствует скорости передачи 960 кбит/с. Два кода с коэффициентом расширения SF4 дают скорость 1920 кбит/с. При использовании кода с коэффициентом расширения SF4 в трех параллельных каналах скорость увеличивается до 5760 Кбит/с.

Выделенный контрольный канал (E-DPCCH) предназначен для переноса информации о подтверждении получения переданных абонентской станцией данных. По этому каналу передаются:

- Информация о расширенном транспортном формате передачи данных, которая составляет 7-битную последовательность и определяет скорость передачи данных;

- дополнительные два бита, содержащие данные о повторной передаче (при этом RSN сообщает, является пакет новым или повторной передачей ранее отправленного);

- последний бит, который дает разрешение или запрещение абонентской станции использовать более высокую скорость передачи по направлению «вверх» (от абонента к БС).

Для случая, когда время инкапсуляции равно 2 мс, десять информационных битов закодированы в 30 битах трех последовательных временных интервалов. В варианте со временем инкапсуляции в 10 мс контент подкадров с ТП, равным 2 мс, просто продублирован пять раз. Выделенный канал индикации сообщения о доставке (Hybrid ARQ Indicator Channel, HICH) может использоваться несколькими абонентами одновременно. Чтобы различать сигналы каждого пользователя, в сетях с кодовым разделением используются специальные кодовые последовательности символов, называемые индивидуальными ортогональными подписями.

В сетях HSUPA каждому пользователю выделяется одна ортогональная подпись для канала E-HICH и одна — для E-RGCH. Поскольку на HICH доступно всего 40 ортогональных подписей, то только 20 пользователей могут совместно использовать один кодовый канал в каждый определенный момент времени. Управляющий канал относительной регулировки мощности для абонентской станции E-RGCH предназначен для того, чтобы повысить или понизить выходную мощность передатчика АС. По данному каналу не передается точное значение мощности, которую абонентская станция должна установить. Базовая станция отслеживает сигнал АС и регулярно сообщает ей текущий статус, относительно которого АС должна регулировать свою работу. В случае если связь ухудшается, БС выдает команду на увеличение мощности передачи АС. В том случае, когда абонентов в сети мало и сигнал АС достаточно сильный, БС посылает управляющий сигнал на уменьшение мощности.

Канал абсолютной регулировки мощности E-AGCH предназначен для того, чтобы установить верхний предел мощности передатчика абонентской станции, который может быть задействован в данный конкретный момент. Максимальная мощность напрямую связана с максимальной скоростью передачи данных. В отличие от метода относительного регулирования мощности, абсолютное ограничение задается достаточно редко, когда АС запрашивает каналные ресурсы и когда устанавливается несущая частота.

По каналу E-AGCH базовая станция передает два вида сообщений:

- Точное значение уровня ограничения мощности (Absolute Grant value);

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

При запросе на установление соединения с базовой станцией абонентская станция передает информацию о своих технических возможностях. В зависимости от них БС устанавливает для конкретной АС соответствующий режим связи.

Как уже было сказано выше, в технологии HSUPA использован HARQ (гибридный метод автоматического запроса повторной передачи). Базовым в этом варианте является метод Stop and Wait, который означает, что перед началом трансляции нового блока данных передатчик ожидает подтверждения об успешном приеме предыдущего.

Как правило, этот способ используется в режиме OFDMA, который позволяет выделить специальный канал для подтверждения передачи. Если HARQ включен, каждый пакет, переданный БС, требует от АС подтверждения получения по специальному обратному каналу. В тех случаях, когда пришло сообщение об ошибке или подтверждение успешного приема не получено в установленный срок, базовая станция приступает к повторной передаче. С этой целью можно использовать два метода. В одном случае применяется так называемый метод передачи с увеличивающейся избыточностью (Incremental Redundancy, IR).

При подключении функции HARQ для каждого исходного пакета в канальном кодере формируется до четырех субпакетов, каждый со своим идентификатором (SPID). Если произошел сбой, повторно транслируется субпакет с другим SPID, который имеет тот же самый кодированный исходный пакет, но с иными параметрами кодера. В методе с «управляемым комбинированием» (Chase Combining, CC) в случае возникновения ошибки осуществляется повторная трансляция одного и того же кодированного пакета. Этот метод может использоваться только с мобильными абонентскими станциями.

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

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

В настоящее время стандарты 3GPP (Release 6-11) регламентируют девять категорий технологии HSUPA, которые имеют различный набор параметров и определяют технические характеристики и свойства конкретной АС (мобильного телефона или терминала). Категории мобильных абонентских станций, поддерживающих технологию HSUPA, показаны в таблице 2.2 [11]. Видно, что скорость передачи данных определяется комбинацией базовых параметров оборудования, таких как СТ, SF, TTI, MTW TTI.

Т а б л и ц а 2 - Скорость передачи в технологии HSUPA для различных категорий абонентских станций

Наименование категории абонентской станции в соответствии со стандартами 3GPP	Максимальная скорость передачи от абонента к базовой станции, Мбит/с	Наименование коммерческой версии абонентской станции, доступной в свободной продаже
Category 1 (3GPP Rel 99)	0,73	
Category 2 (3GPP Rel 2)	1,46	
Category 3 (3GPP Rel 3)	2,00	Nokia: X3-01, N8, C5, C3-01, E52, E72, E55, 6700 Classic, N900, 5630 XpressMusic; BlackBerry: Storm 9500, 9530; HTC: Dream, Passion (Nexus One)[3].
Category 4 (3GPP Rel 4)	2,93	Qualcomm 6290
Category 5 (3GPP Rel 5)	5,76	BlackBerry Tour 9630, Nokia CS-15, Option GlobeTrotter Express 441/442, Option iCON 505/505M, Samsung i8910, Apple iPhone 4, Huawei, E180/E182E/E1820/ E5832/EM770W, Micromax A60

Продолжение таблицы 2.2

Category 6 (3GPP Rel 6)	11,5	Параметры модуляции: 2 ms, dual cell E-DCH operation, QPSK only, 3GPP Rel 9 TS 25.306
Category 7 (3GPP Rel 7)	23	Параметры модуляции: 2 ms, dual cell E-DCH operation, QPSK and 16QAM, 3GPP Rel 9 TS 25.306
Category 11/12 (3GPP Rel 11)*	70*	

Приведенные в таблице данные показывают, что чем выше категория абонентской станции, тем выше ее скорость передачи. Максимальная

теоретическая скорость, с которой АС может передавать данные на БС, на сегодня составляет 23 Мбит/с. Однако это теория. Еще раз подчеркнем, что скорость передачи является переменной величиной, которая в каждый конкретный момент времени зависит от возможностей абонентской станции (мобильного телефона, смартфона, базового модуля), оборудования базовой станции и от загрузки сети.

2.3 Высокоскоростные сети HSPA

Метод высокоскоростной пакетной передачи данных (High-Speed Packet Access, HSPA) объединяет две рассмотренные выше технологии: HSDPA (передача данных от базовой станции к абоненту) и HSUPA (передача данных от абонента к базовой станции). В стандарте 3GPP Release 8 была разработана усовершенствованная технология, получившая название Dual-Cell HSDPA. Теоретически, этот метод позволяет удвоить скорость передачи данных от БС к абоненту за счет использования удвоенной пропускной способности.

Идея этой технологии заключается в том, что в сети HSDPA эксплуатируются две различные радиочастоты. Если задействовать их вместе, то появляется возможность получить два одновременных канала передачи данных «вниз». Это напоминает методику, которая применяется в некоторых маршрутизаторах Wi-Fi. Как было отмечено ранее, в сетях третьего поколения выделяются непрерывные полосы частот в определенном частотном диапазоне.

Например, в России две непрерывные полосы по 15 МГц в диапазонах 1935-1980 и 2125-2170 МГц выделены для организации трех каналов в режиме частотного дуплекса (IMT-DS). Непрерывный участок шириной 5 МГц в полосе радиочастот 2010-2025 МГц отведен для организации одного канала в режиме временного дуплекса (IMT-TC). Существуют сценарии, когда одна из полос остается свободной в течение некоторого промежутка времени. Технология Dual-Cell HSDPA позволяет ее задействовать в качестве дополнительного канала передачи данных.

В стандарте 3GPP Release 9 регламентирована технология HSPA+ (Evolved High-Speed Packet Access), представляющая собой улучшенный вариант HSPA, в котором уже присутствуют более сложные модуляции 16-QAM (Uplink)/ 64-QAM (Downlink) и технология MIMO (Multiple Input Multiple Output, мультивход/мультивыход) [11].

В MIMO используются несколько приемных и передающих антенн, которые разнесены между собой таким образом, чтобы достичь наименьшей корреляции между соседними антеннами. В общем случае в методе MIMO поток данных пересылается одновременно, с использованием разных антенн. При этом антенны передают данные независимо друг от друга на одной и той же частоте.

Т а б л и ц а 3 - Скорость передачи в технологии HSDPA в зависимости от типа используемой модуляции

Протокол	Версия 3GPP	Категория	Максимальное число кодов HS-DSCH	Модуляция	MIMO, Dual-Cell	Коэффициент избыточности при максимальном битрейте	Битрейт, Мбит/с
HSPA+	Release 7	13	15	64-QAM		0,82	17,6
		14				0,98	21,1
		15		16-QAM	MIMO	0,81	23,4
		16				0,97	28
		19		64-QAM		0,82	35,3
		20				0,98	42,2
Dual-Cell HSDPA	Release 8	21		16-QAM	Dual-Cell	0,81	23,4
		22				0,97	28
		23		64-QAM		0,82	35,3
		24				0,98	42,2
DC-HSDPA w/MIMO	Release 9	25		16-QAM	Dual-Cell+; MIMO	0,81	46,7
		26				0,97	55,9
		27		64-QAM		0,82	70,6
		28				0,98	84,4

Таким образом реализуется несколько пространственно разнесенных подканалов, по которым данные передаются одновременно в одном и том же частотном диапазоне. Усовершенствованная сеть HSPA+ может теоретически поддерживать скорости до 28 Мбит/с «вверх» и до 42 Мбит/с «вниз». В принципе, возможно использование технологии DC-HSDPA в комбинации с MIMO. Кроме того, нет категорического запрета на использование различных частот при объединении полос в DC-HSDPA [11]. Расширенные варианты технологии HSPA+ в совокупности с методом MIMO позволяют в разы увеличить скорости передачи как «вверх», так и «вниз».

3 Основные проблемы передачи радиосигнала

3.1 Затухание сигнала

Для передачи телекоммуникационных сигналов применяются различные среды: электрический или оптический кабель связи, воздушное пространство и т.п. При этом не зависимо от выбранного способа передачи первоначальная энергия сигнала, которая была на выходе передатчика будет уменьшаться. Иными словами сигнал будет затухать. Главным негативным следствием этого

процесса будет сложность в приеме сигнала, т.е. если энергия сигналы на выходе канала связи будет меньше некоего уровня (порога чувствительности приемника), то сигнал может быть принят с ошибкой.

В зависимости от канала связи причин затухания может быть достаточно много. В любом случае главная причина – неидеальность среды передачи. В частности электрический канал связи обладает неким сопротивлением и чем выше это сопротивление, тем выше будут потери. Энергия будет рассеиваться на нагрев проводника. Для оптического канала связи основной причиной затухания являются примеси в проводнике и неоднородности. Из-за наличия примесей и неоднородностей часть полезной энергии переотражается обратно в сторону источника или выходит за пределы оптического волокна.

Для радиоканала существует целый ряд причин затухания. Главной из них является рассеивание энергии сигнала на тепло, т.е. практически радиопередатчик "греет" окружающее пространство. Однако данный вид потерь вполне предсказуем и обладает свойством линейности. Таким образом, зная затухание сигнала для определенной частоты на единицу длины, заранее можно рассчитать необходимую мощность излучения передатчика для передачи сигнала на заданное расстояние.

Большую проблему для сотовой связи создают искусственные объекты. Например, стена жилого дому вносит очень ощутимое затухание, в результате чего в центре здания связи может не быть вовсе. Решением этой сложности является размещение специальных Indoor (внутриобъектовых) – базовых станций, которые специально предназначены для создания устойчивого покрытия внутри подобных объектов. К сожалению, размещение даже внутриобъектовой базовой станции – это достаточно дорого и к этому прибегают в редких случаях, когда речь может идти о быстрой окупаемости или высокой важности клиента для оператора. В остальных случаях решение данной проблемы остается на плечах самого абонента. Решить эту проблему можно установив на мобильный телефон (MS) внешнюю антенну или подойдя к открытому пространству, например к окну.

3.2 Теневые зоны

При распространении сигнала от базовой станции (BTS) сотовой связи он встречает на своем пути различные препятствия искусственного и естественного происхождения. К преградам искусственного происхождения можно отнести жилые здания, производственные корпуса, широкие мосты и виадуки и т.п. К препятствиям естественного происхождения относятся горы, холмы, обрывы, высокие лесные массивы и т.д. Таким образом, любой более менее широкий объект, возвышающийся над земной поверхностью хотя бы на несколько метров может создать препятствие. В зависимости от размеров преграды возможны несколько вариантов: сигнал, возможно, просто будет огибать препятствие, либо за встретившимся объектом образуется так

называемая теменная зона с очень низким уровнем сигнала, либо сигнал будет отсутствовать вовсе.

Обычно объекты, которые могут стать преградой известны еще до развертывания сети связи и проектирование осуществляется с самого начала с учетом возможных препятствий. Существует достаточно много решений данной проблемы. Во-первых, для закрытия обширных теменных зон с большим числом потенциальных абонентов в данной зоне может быть, установлена дополнительная базовая станция. При этом она может быть в конфигурации с малой емкостью. Если речь идет о малонаселенной теменной зоне, то наиболее разумным решением будет установка репитера (переизлучателя). Принцип его работы заключается в том, что репитер забирает емкость какой-либо другой базовой станции и излучает сигнал сотовой связи в заданной местности. Однако на практике оказывается, что установка репитера обходится не на много дешевле, чем строительство полноценной базовой станции, но при этом репитер имеет ограничения по емкости и возможности расширения, а также расходует ресурсы другой BTS.

3.3 Многолучевое распространение сигналов

Радиосигнал, на пути распространения от источника к приемнику может встречать какие-либо преграды. При этом сигнал может быть поглощен им или отражен. После чего этот сигнал снова может быть отражен в сторону получателя. В этом случае данный сигнал достигнет приемника, однако произойдет это с опозданием. С другой стороны оставшаяся энергия сигнала может достичь приемник без переотражения за более короткое время или пройти большее число отражений что в свою очередь приведет к еще большим задержкам. Данный эффект возникает, когда между источником и приемником возникают несколько путей доставки сигнала. При этом энергия сигнала будет распределена между копиями сигнала неравномерно, что в итоге может привести к ситуации, когда приемник не сможет получить достаточно энергии хотя бы в одной из копий для однозначного приема сигнала.

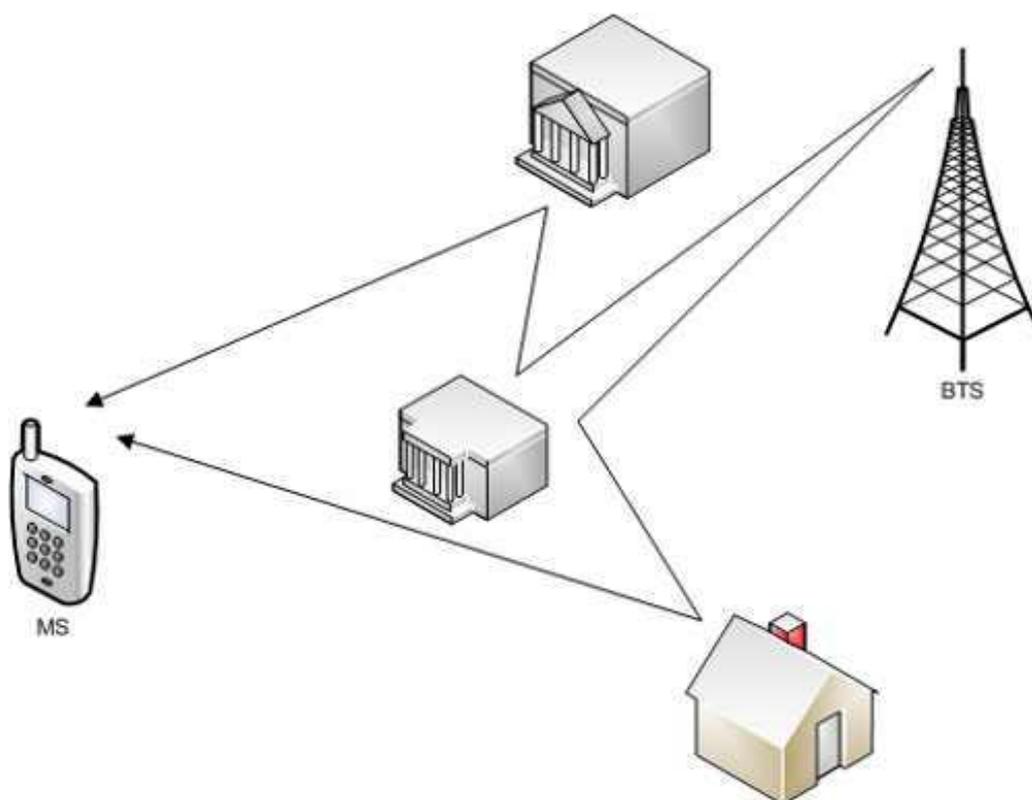


Рисунок 5 – Схема движение радиосигнала при отражении

3.4 Многолучевое распространение радио сигнала

Однако данная проблема имеет и другую не лежащую на поверхности пользу. При многолучевом распространении сигнала приемник получает сразу несколько копий сигнала. Сравнив эти копии между собой можно выявить и даже исправить ошибки, возникшие при распространении сигнала. Данный принцип положен в основу работы Rake-приемника в мобильном оборудовании (UE) сети сотовой связи стандарта UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Rake-приемник представляет собой по сути несколько приемников одном. Каждый из данных приемников настраивается на свой луч, определяет временное смещение от остальных копий. Затем энергия от данных приемников сравнивается и складывается. Таким образом, для Rake-приемника лучшей обстановкой является именно многолучевое распространение сигнала, а не беспрепятственное.

В технологии MIMO (Multiple Input Multiple Output) многолучевое распространение – это необходимый элемент работы приемопередатчиков. Принцип данной технологии основан на том, что информационный поток от одного источника делится между несколькими приемопередатчиками. На приемной стороне также существует набор из такого же числа приемопередатчиков. Таким образом, организуются не один, а много каналов связи и для них желательно, чтобы были различные пути прохождения сигнала. Практические испытания показали, что чем меньше препятствий между

приемопередатчиками MIMO, тем ниже суммарная скорость передачи данных в тоге достигается. Эта технология получила распространение в сетях UMTS (Rel.7) и LTE (Long Term Evolution).

3.5 Замирания сигнала

Сигнал на радио интерфейсе системы сотовой связи редко когда распространяется по прямой. На пути распространения обычно попадают различные препятствия, которые ведут к отражениям сигнала и изменению его траектории. В результате может сложиться ситуация когда к приемнику будут поступать не одна а сразу несколько сдвинутых по времени копий исходного сигнала с разными амплитудами. Причем энергия исходного сигнала будет распределена между копиями неравномерно. Это так называемое явление многолучевого распространения сигнала. Само по себе это явление не ведет к большим проблемам, т.к. существуют достаточно эффективные методы борьбы, например, Rake-приемник. Однако может сложиться ситуация когда две копии сигнала придут в противофазе. Это означает, что копия сигнала может задержаться на промежуток времени кратный периоду сигнала. В таком случае два луча сигнала могут сложиться в приемнике и нейтрализовать друг друга. Если окажется, что эти два луча в сумме несли весомую энергию сигнала, то это может привести к увеличению числа ошибок и снижению качества канала связи. Это явление получило название "замирания" сигнала, т.е. сигнал вроде как перестает на время поступать между источником и приемником.

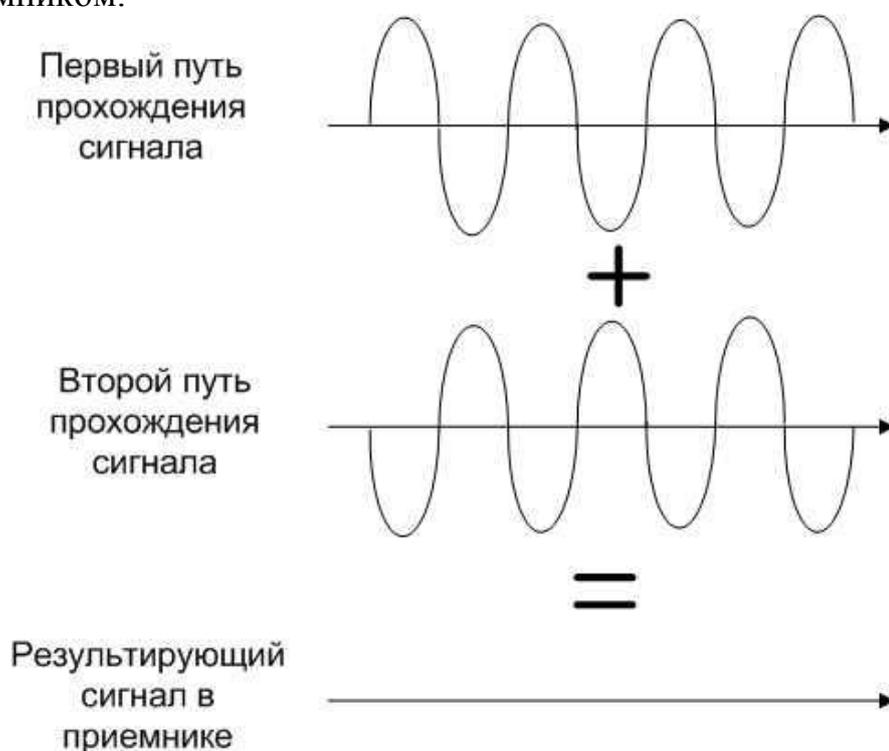


Рисунок 6 – Возникновение нулевой результирующей

Выделяют две основные разновидности замираний в зависимости от эффекта оказываемого ими и их причины: быстрые и медленные замирания. Медленные замирания вызваны, как правило, плохими метеоусловиями и существуют достаточно эффективные методы борьбы с ними. Быстрые замирания вызваны преимущественно движением приемника (источника) или препятствиями близкорасположенными с получателем сигнала. Этот вид замираний частотно селективен, т.е. изменение частоты, на которой ведется передача, может или снизить этот эффект, или полностью его убрать.

Таким образом, замирания сигнала – это одна из самых важных проблем в сотовой связи. Однако многолетний опыт и большой объем наработок в области сотовой связи позволяют в настоящее время достаточно эффективно бороться с замираниями.

3.6 Временные задержки

Телекоммуникационный сигнал, распространяется от источника по какому либо каналу связи: электрический, оптический кабель или радиоэфир. При этом в зависимости от среды распространения и используемой частоты сигнал будет приходить к получателю с той или иной задержкой. Если задержка для всех посылок сигнала будет постоянна и не превышать определенного максимального порога, то она не влечет за собой каких-либо существенных последствий. Обычно борьбу с небольшими задержками (порядка нескольких сотен микросекунд или миллисекунд) ведут, вводя в структуру сигнала небольшие защитные интервалы. Однако если задержка вызвана переотражением или неоднородностью среды распространения, то задержка может начать изменяться и даже выходить за пределы защитного интервала. Это в свою очередь может привести к наложению двух соседних по времени посылок и потери части информационного потока.

Временные задержки могут оказывать не только вред, но и приносить пользу. В частности в сотовой связи длительность задержки сигнала в радио интерфейсе может говорить о расстоянии находящемся до объекта, т.е. мобильной станции (MS) абонента. Эта информация используется для подстройки мощности излучения передатчика. В стандарте GSM (Global System for Mobile Communications), например, максимальная дальность связи может достигать 35 км. Максимальное значение задержки (Timing advance) может быть равно 64 единицам. Соответственно расстояние от базовой станции до абонента может быть определено с точностью до 550 метров. Еще одним полезным приложением временных задержек является возможность предоставления сервиса "Определение местоположения". Если мобильная станция получает сигнал одновременно нескольких базовых станций и зная их географические координаты, то вычисление местоположения сводится к обычной геометрической задаче. Причем чем от большего числа базовых станций MS получает сигнал, тем более точным может быть определение местоположения, иногда достигая нескольких десятков метров.

4 Экспериментальная часть

При проведении исследований, эксперимент поставлен следующим образом. На выбранном участке Илийского тракта, протяженностью 2.4 км, установлена секторная антенна сотового оператора, которая равно удалена от конечных точек маршрута и находится в 100 метрах от трассы. Автомобиль движется по трассе, приближаясь и удаляясь от антенны. Сбор данных производится мобильной станцией находящейся в автомобиле путем скачивания информации с FTP-сервера заданного оператора. Связь секторной антенны с FTP-сервером организована посредством радиорелейных антенн, установленных на расстоянии 13 километров друг от друга в зоне прямой видимости. Схема эксперимента предоставлена на рисунке 7.

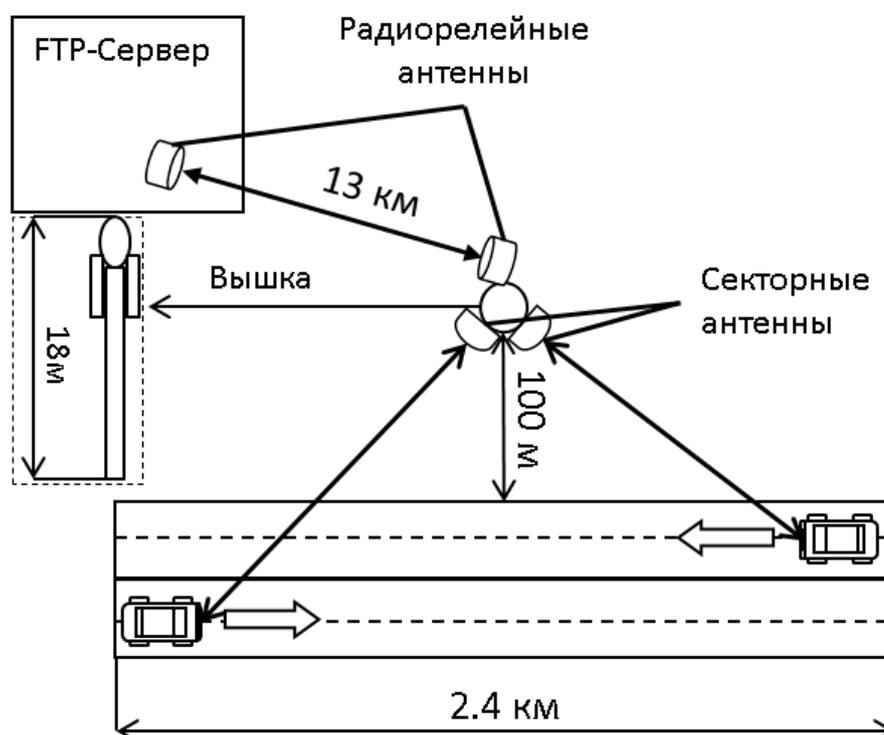


Рисунок 7 – Схема эксперимента.

Антенны, обслуживающие мобильную станцию, модель 742215 компании “Kathrein Scala Division” работающие в частотном диапазоне от 1710 до 2200 МГц и предназначены для работы с 3G сетями. Усиление антенн 18дБи. Диаграмма направленности 65 градусов. Диаграммы направленности предоставлены на рисунке 8.

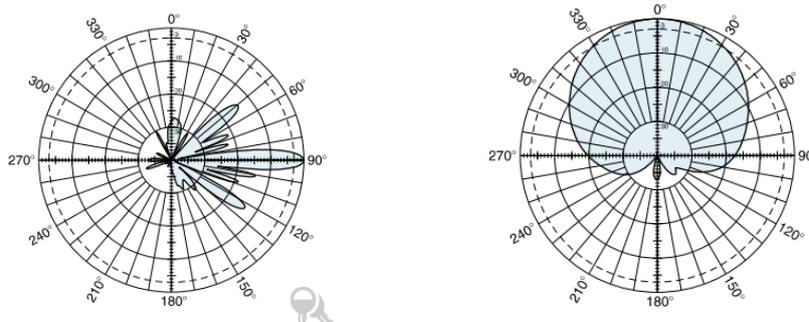


Рисунок 8 – горизонтальная и вертикальная диаграммы направленности

Модель радиорелейных антенн, используемых в работе, имеет пропускную способность 34Мбит/с и превосходит максимально возможную пропускную способность выбранной технологии WCDMA 14.4 Мбит/с.

Использованное в ходе эксперимента оборудование и программное обеспечение: два телефона Sony Ericsson W995i с прошивкой компании Ascom, ноутбук с операционной системой Windows XP, Garmin GPS – для установки положения в пространстве, программа Tems Investigation v11.0 – программа для снятия замеров беспроводных сигналов, обработки и вывода статистики.

Все данные полученные экспериментальным путем обработаны с помощью программного обеспечения и выведены в табличный вариант. Проведена выборка данных на отдельные группы по скорости перемещения мобильной станции, по направлению к антенне и от нее. Были выбраны участки, где передача данных была зафиксирована. Игнорировались моменты установления и завершения соединения. Для каждой группы были рассчитаны: математическое ожидание, среднее квадратичное отклонение и коэффициент вариабельности и их результаты сведены в таблицу 4 и таблицу 5.

Таблица 4 – Скорость передачи данных при движении от секторной антенны

	Математическое ожидание кбит/с	Среднее квадратическое отклонение кбит/с	коэффициент вариабельности
1 до 20 км/ч	955	390	0,408
21 до 40 км/ч	1300	472	0,363
41 до 60 км/ч	1157	452	0,391
61 до 80 км/ч	1148	618	0,539
81 до 100 км/ч	1337	499	0,373

Таблица 5 – Скорость передачи данных при движении к секторной антенне

	Математическое ожидание кбит/с	Среднее квадратическое отклонение кбит/с	коэффициент вариабельности
1 до 20 км/ч	1029	474	0,461
21 до 40 км/ч	1131	437	0,386
41 до 60 км/ч	1077	550	0,510
61 до 80 км/ч	935	546	0,584
81 до 100 км/ч	1356	587	0,433

Из таблиц 1,2 видно, что коэффициент вариабельности при скорости движения 21-40 км/ч и 81-100 км/ч наименьший и стабильность передачи данных выше.

По полученным данным построены гистограммы рисунки 9,10.

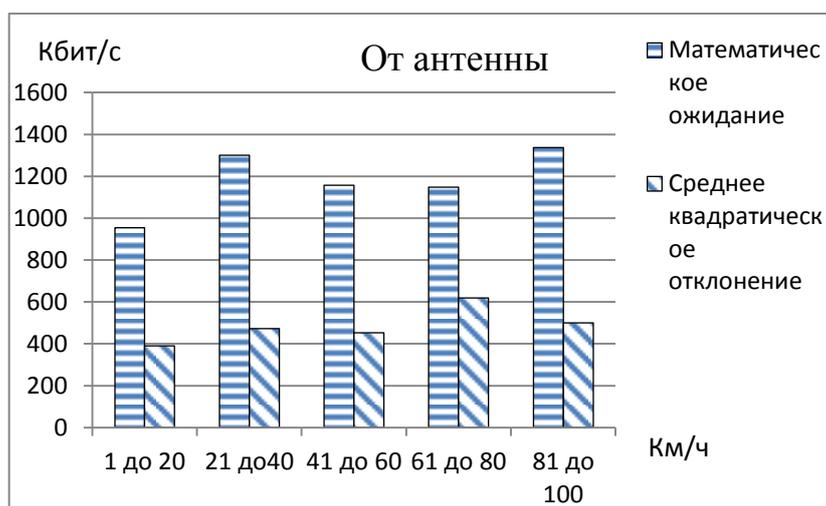


Рисунок 9 – Гистограмма зависимости скорости перемещении абонента на передачу данных при движении от антенны

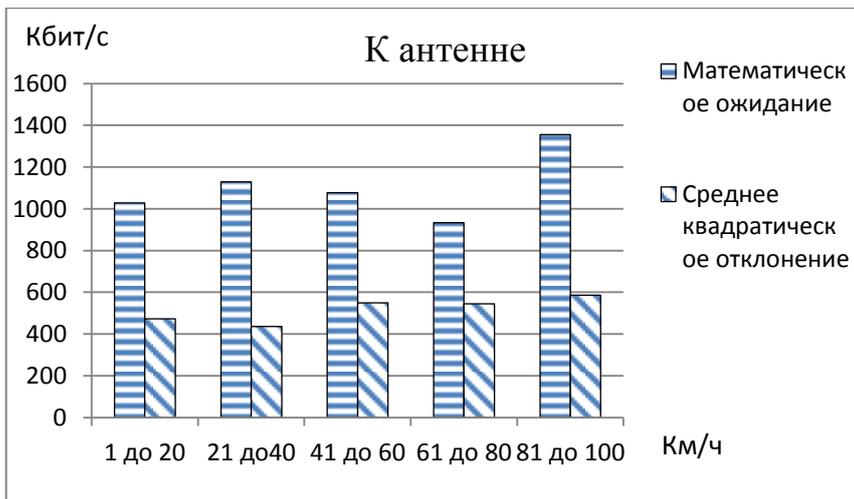


Рисунок 10 – Гистограмма зависимости скорости перемещении абонента на передачу данных при движении к антенне

Полученные результаты на рисунке 9,10 показывают, что при движении мобильной станции по направлению от антенны, скорость передачи данных более стабильна, а среднее квадратическое отклонение значительно меньше, чем при движении к антенне.

На рисунке 11 представлено сравнение скорости передачи данных от направления движения абонентской станции.

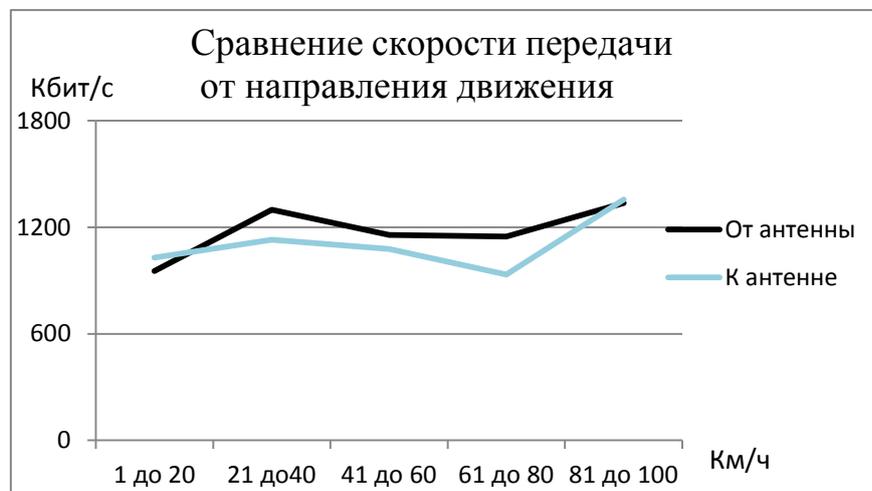


Рисунок 11 – Сравнение скорости передачи от направления движения

Из рисунка 11 видно, что при скорости движения 21-81 км/ч от антенны передача данных ведется интенсивнее на 100-200 кбит/с.

5 Расчетная часть

5.1 Расчет емкости системы WCDMA

Одним из вариантов улучшения работоспособности системы сетей третьего поколения UMTS/WCDMA - это возможность использования более глубокого расчета, как ожидаемой нагрузки в области работы и дальнейшего построения оптимальной сети связи, так и уменьшение структурной избыточности при обеспечении заявленного качества.

Для воссоздания данного метода развития традиционного стандартного подхода к проектированию мобильной сети WCDMA необходимо:

Выбрать и обосновать необходимые элементы связи сети WCDMA;

Спроектировать структуру элементов связи сети WCDMA удовлетворяющую всем критериям заданной оптимальности;

Построить, удовлетворяющий потребностям сети, алгоритм синхронизации для получения заданной оптимальности;

Выбор и обоснование критерия оптимальности

Необходимые критерии оптимальности, используемые для расчета:

- Зона покрытия;
- Частотный ресурс;
- Характеристики оборудования;
- Выявленная нагрузка;

Необходимые требования - это оптимальное покрытие с качеством связи, удовлетворяющим заданными критериями

Качество - удовлетворяемое заданным критериям считается совокупность базовых станций с минимальной мощностью (пользовательского оборудования) с заданными характеристиками. При условии полного покрытия выбранной территории с качеством базовых услуг. При требуемом качестве, как на нисходящих (Downlink) так и на восходящих (Uplink) каналах.

Базовые услуги, для которых требуется сплошное покрытие сети (Различны для нисходящих и восходящих каналов трафика).

Математически критерий оптимальности сети связи можно выразить следующим функционалом:

$$\Phi = \min_{N_{BC} \in W} \left(N_{BC} (x, y, k_{sc}, K_{sc}) \mid \bar{K}_{sc}, F, S, Q, \varrho \right) \quad (2)$$

где:

W – заявленное количество БС, рассчитанных во всех возможных местах установки;

N_{BC} - число базовых станций в сети WCDMA;

$\langle x, y \rangle$ - координаты БС;

$h_{\text{БС}}$ - высота подвеса антенны БС;

$\vec{K}_{\text{БС}}$ - вектор характеристик пользовательского оборудования;

$\vec{K}_{\text{АС}}$ - вектор характеристик типовой абонентской станции;

$F = F_{\text{зад}}$ - заданный частот ресурс рассчитанный на одну макросоту, МГц;

$S = S_{\text{зад}}$ - заданная территория покрытия сети, км²;

$\Theta = \Theta_{\text{зад}}$ - модель прогнозируемого трафика в сети;

$Q = Q_{\text{зад}}$ - заданное качество услуг (Quality).

Сеть WCDMA, удовлетворяющая заданному критерию, будет считаться оптимальной, при обеспечении на всей выбранной территории покрытия удовлетворительного уровня сигнала связи и качества передачи данных с использованием минимальных затрат оборудования и частотного ресурса.

5.2 Структура оптимальной системы связи на технологии WCDMA

При выбранных характеристиках БС их минимальное число в мобильной сети будет обеспечиваться при условии расположения БС на участках с повышенным уровнем нагрузки. Перераспределение возможной максимальной нагрузки равномерно с условием участков с повышенными требованиями к емкости сети. Общая емкость, обеспечиваемая всеми БС сети должна быть равна нагрузке на заданной территории, а БС необходимо устанавливать в областях с повышенной нагрузкой. При таком расположении БС использование частотного ресурса и емкости будет максимальным по причине минимального расстояния между БС и пользовательским оборудованием. Что положительно будет влиять на нагрузку БС и абонентские станции в целом.

Участки высокой плотности БС, расположенных в зонах с прогнозируемо высокой нагрузкой и обеспечивающие оптимальное покрытие территории с предоставлением заявленного качества связи, как на нисходящих, так и на восходящих каналах определяются по БС с минимальным качеством предоставления услуг.

Стоит учитывать так же и участие сети связи, где территория обслуживается отдельно стоящими базовыми станциями при отсутствии в пределах зоны других БС. Это связано с тем, что станции стоящие в зонах повышенной нагрузки расходуют большую часть своей емкости на обслуживание находящихся в зоне терминалов и абонентских станций. По

причине повышенной нагрузки, по сравнению с другими БС, емкостного ресурса затрачиваемого на пилот-сигналы. Такие критерии выставляются при удаленности БС от граничащих с ней базовых станций.

При установке минимально возможного числа БС, необходимых для выполнения заявленного качества имеется одна важная особенность. Сеть связи не является избыточной а именно при удалении того или иного элемента сети предоставление услуг становится невозможным как в нисходящих так и восходящих каналах связи. Это условие выполняется и при выходе из строя элементов уже функционирующей сети.

Подготовка исходных данных и организация алгоритма для построения сети удовлетворяющей всем требованиям невозможна без получения исходных данных о местности, рельефе, плотности абонентов и ожидаемой нагрузки. Все эти данные могут быть собраны различными методами. Опытным путем с использованием сканирующих устройств и считывающих уровень и качество получаемого сигнала. Так же для получения данных о рельефе и данных местности (плотность застройки, этажность и другие элементы, влияющие на качество передаваемых данных) можно использовать геоинформационные системы с прошивкой, соответствующей данным выбранным критериям. При получении этих данных становится возможным спроектировать физическую модель заданной зоны и получить предварительные данные до построения реальной сети. Возможность смоделировать и получить данные позволит создавать не избыточные сети. Проверить возможность предоставления услуг в различных условиях.

Подготовка требуемых исходных данных заключается в проведении следующих операций:

Расчет прогнозируемого трафика для систем ГИС в большинстве случаев задается в виде прямоугольной матрицы. Прогнозируемая нагрузка $\Theta_{m \times n}$ выстраивается ячейками в роли, которых выступают кластеры территории, с которыми связаны данные о нагрузке и уровню сигнала.

$$(\alpha_k, \beta_k)_{i,j}, k=1...N, i=1...m, j=1...n,$$

где:

k – тип услуги, выбранной сетью;

N – количество услуг, выбранной сетью, скорость передачи данных у которых меньше или равна скорости передачи данных услуг выбранных критериев;

$(\alpha_k)_{i,j}$ - число активных абонентов, находящихся в ячейке $\theta_{i,j}$ и использующих услугу k в восходящем канале трафика (линия БС-АС);

$(\beta_k)_{i,j}$ - число активных абонентов, находящихся в ячейке $\theta_{i,j}$ и использующих услугу класса k в нисходящем канале трафика (линия АС-БС).

1) В модели расчета нагрузке в кластере учитываются только те абоненты, которые используют услуги со скоростями передачи меньше или равными скорости передачи услуг базового класса, соответственно, по восходящим и нисходящим каналам. Такие действия необходимы для дальнейшего проектирования сети с учетом слабых участков и проектирования сети охватывающее полное покрытие кластера с уровнем выше минимально предъявленного качества на уровне макросот. Создание участков с качеством превосходящим средний уровень будет проводиться уже на уровне микро- и пикосот.

2) Необходим анализ выбранной территории для построения БС, требуется найти оптимальные места установки для использования потенциала БС в полной мере.

После проведения предыдущей операции должны быть получены пары $\{<x,y>, h_{BC}\}$, где: $<x,y>$ - координаты потенциальных мест установки БС с воз; h_{BC} - высоты подвеса антенн в потенциальных местах установки БС на цифровой карте.

3) На основе заданных типовой конфигурации БС, характеристик АС и модели нагрузки в сети определение специфичных для каждого потенциального места установки базовой станции характеристик, при которых обеспечиваются максимально возможные равные радиусы связи в прямом и обратном каналах трафика для услуг базовых классов.

Эта операция заключается в выравнивании энергетики указанных каналов, что достигается настройкой ключевых характеристик базовой станции, таких как мощность излучения на канал трафика и чувствительность, в соответствии с прогнозируемой в соте нагрузкой. В результате формируется множество векторов конфигураций базовых станций $\{ \}$, находящихся на цифровой карте местности с координатами $<x,y>_i$ и высотой подвеса антенны h_{BCi} .

Определение специфичных для каждого потенциального места установки БС характеристик необходимо в дальнейшем для расчета их зон обслуживания при реализации конструктивного алгоритма синтеза оптимальной подсистемы радиодоступа сети WCDMA.

5.3 Синтез оптимальной подсистемы радиодоступа сети WCDMA

В соответствии со свойствами оптимальной подсистемы радиодоступа образующее его подмножество БС обладает минимальной мощностью среди всех других возможных подмножеств и не является избыточным. Это означает, что удаление любого элемента из искомого множества приводит к разрушению

внутренней организации всех остальных элементов этого множества в систему, выполняющую заданную функцию: обеспечение сплошного радиопокрытия определенной территории с предоставлением услуг базового класса в прямом и обратном каналах с заданным качеством.

Как видно, характеристики совокупности элементов, составляющих искомое подмножество БС, определяют ядро минимальной мощности исходного множества, т.е. совокупность минимального числа максимально связанных элементов относительно исходного множества элементов, в рамках теории монотонных систем. Для построения специальной конструктивной процедуры выделения данного ядра воспользуемся результатами этой теории.

Описание элементов исходного множества БС

Пусть W - исходное множество БС, расположенных во всех потенциально возможных местах их установки на заданной территории; $|W| = N$ - мощность этого множества. Элементы множества $\varphi_i \in W$, $i=1...N$ характеризуются следующим вектором параметров:

$$\vec{\varphi}_i = (\langle x, y \rangle, h_{BC}, \vec{K}_{BC})_i, \quad (3)$$

где:

$\langle x, y \rangle_i$ - координаты места установки i -ой БС на цифровой карте;

$h_{BC} i$ - высота подвеса антенны БС;

$\vec{K}_{BC} = (\Delta F, \text{РРПД, max}, \text{ЛРПД}, \text{ГАНТ}, \text{Гдр}, \text{РРПМ, min}, \text{псек})_i$ - вектор параметров конфигурации i -ой БС, где:

ΔF_i - частотный ресурс i -ой БС, МГц;

РРПД, max - средняя мощность передатчика на канал трафика i -ой БС, дБВт;

ЛРПД - потери в передающей части i -ой БС, дБ;

$\text{ГАНТ } i$ - коэффициент усиления антенны i -ой БС, дБ;

$\text{Гдр } i$ - другие выигрыши за счет разнесенного приема/передачи, использования технологии многопользовательского детектирования MUD и др на i -ой БС, дБ;

РРПМ, $\min i$ - чувствительность приемника i -ой БС, дБВт;

$n_{\text{сек } i}$ - количество секторов антенной системы i -ой БС, при OMNI-конфигурации $n_{\text{сек } i} = 1$; будем считать, что при использовании секторных антенных систем их КУ выбираются исходя из условия обеспечения радиопокрытия, соответствующего радиопокрытию от OMNI-антенны с КУ ГАНТ; при 3-х секторной конфигурации антенной системы коэффициент увеличения емкости соты будем считать равным 2,5.

Определение начального весового набора

Определим для решаемой задачи начальный весовой набор для каждой БС исходного множества, т.е. для каждого элемента $\phi_i \in W$ определим уровень его значимости (вес) $\pi(\phi_i)$ (далее, для упрощения, π_i). Отметим, что в соответствии с положениями теории монотонных систем, веса элементов должны иметь ясный физический смысл и служить определяющими параметрами при выделении из исходной монотонной системы ядер - совокупностей максимально связанных элементов.

В качестве веса π_i i -ой БС из множества W , характеризующего «оптимальность» ее размещения на цифровой карте местности как с точки зрения эффективности обеспечения радиопокрытия, так и обслуживания прогнозной нагрузки будем использовать относительный запас базовой станции по потенциальной площади обслуживания:

$$\pi_i = \frac{S_{\text{ном } i} - S_{\text{окр } i}}{S_{\text{ном } i}} = \frac{\Delta S_i}{S_{\text{ном } i}}, \quad (4)$$

где: $S_{\text{пот } i}$ - потенциальная площадь обслуживания для услуг базового класса отдельно стоящей i -ой БС, км²;

$S_{\text{окр } i}$ - площадь обслуживания i -ой БС для услуг базового класса в окружении соседних БС, км²;

ΔS_i - абсолютный запас i -ой БС по потенциальной площади обслуживания, км²;

Разница между понятиями «площадь обслуживания» БС и «площадь радиопокрытия» БС состоит в том, что площадь обслуживания БС представляет собой часть площади радиопокрытия, на которой рассматриваемая базовая станция создает больший по сравнению с другими БС уровень пилот-сигнала и имеет достаточно ресурсов для обслуживания нагрузки.

Очевидно, что для отдельно стоящей базовой станции площадь обслуживания будет определяться наличием свободных каналов трафика и, в случае их достаточного числа для обслуживания нагрузки, будет эквивалентна площади радиопокрытия. Для базовой станции, находящейся в окружении других БС, площадь обслуживания будет определяться как наличием свободных каналов трафика, так более высоким по сравнению с другими БС уровнем пилот-сигнала.

В рассматриваемой сети для сот, ограниченных по радиопокрытию, радиус связи по обратному каналу будет меньше аналогичного радиуса связи по прямому каналу, а для сот, ограниченных по емкости, наоборот. Для устранения указанного дисбаланса между прямым и обратным каналами трафика соответствующие радиусы сот выравниваются.

При задании весов БС как наиболее удачно стоящие (попадающие в «пики» нагрузки) будут иметь наименьшие веса. Это будет справедливо как для сот, ограниченных по радиопокрытию, так и по емкости. Данное утверждение следует из того, что БС, находящиеся в «пиках» нагрузки, будут больше загружены по сравнению с БС, находящимися в любых других местах. Это обусловит большую близость их площади обслуживания в окружении соседних сот $S_{окр}$ к потенциальной площади обслуживания отдельной стоящей БС $S_{пот}$ по сравнению с базовыми станциями, находящимися в других местах.

Отметим, что вес, заданный с данными параметрами, является безразмерной величиной. Допустимый диапазон изменения значений данного нормированного показателя составляет от некоторого максимального значения, определяемого максимальной разностью ΔS_i , до нуля, когда указанная разность в числителе обнуляется. Нулевые значения введенного веса соответствуют предельно допустимым ситуациям, когда БС имеют максимально возможную (потенциальную) площадь обслуживания, соответствующую аналогичной площади обслуживания в случае их одиночного расположения, без окружающих БС.

Возникновение ситуации, при которой значение веса какой-либо БС становится меньше нуля, говорит о том, что площадь обслуживания этой БС оказалась больше потенциально возможной площади обслуживания, что означает появление необслуживаемого участка территории. Это противоречит условию сплошного радиопокрытия, которое должно обеспечиваться оптимальной подсистемой радиодоступа. Следовательно, постановка задачи допускает только положительные значения весов БС, входящих в искомое подмножество.

Определение положительных и отрицательных действий над элементами системы

Задав выражения для веса элементов системы, определим \mathbb{A} и \mathbb{Q} действия над элементами исходного множества БС.

Действием типа "+" (положительным действием) будем считать включение базовой станции $\phi_i \in W$, определяемой вектором (3), в подсистему базовых станций $H \subseteq W$.

Действием типа "-" (отрицательным действием) будем считать исключение базовой станции $\phi_i \in W$, определяемой вектором (3), из подсистемы базовых станций $H \subseteq W$.

Монотонность исходной системы БС

Для применения методов теории монотонных систем с целью выделения из исходного множества базовых станций W экстремальной подсистемы, т.е. совокупности БС, образующих оптимальную подсистему радиодоступа сети WCDMA в соответствии с критерием оптимальности (1), необходимо, чтобы исходное множество W было монотонной системой. В соответствии с теорией монотонных систем, в таких системах действия типа +, производимые над каким-либо элементом, вызывают увеличение весов всех остальных элементов, а действия типа "-" - уменьшение весов элементов.

Приведем содержательную интерпретацию "+" и "-"-ядер для рассматриваемой задачи. Так, "+"-ядром в исходном множестве БС будет являться такое подмножество базовых станций, обеспечивающих радиопокрытие территории с заданным качеством, при котором внутри этого множества базовая станция с наибольшим относительным запасом по потенциальной площади обслуживания будет являться в то же время базовой станцией с наименьшим относительным запасом по потенциальной площади обслуживания, но уже не внутри подмножества, а среди всех возможных подмножеств исходного множества W .

При введенном определении положительных и отрицательных действий и выражения для весов, система БС W является монотонной системой. Для доказательства этого факта необходимо показать, что при совершении над любым элементом системы $\phi_i \in W$ действия, например, типа "-", т.е. удаления j -ой БС, веса всех остальных элементов системы $\pi(\phi_i)$, $\phi_i \in W \setminus \phi_j$ монотонно уменьшаются. Доказательство здесь опущено.

5.5 Расчет емкости соты UMTS

Для анализа взяты исходные данные, определяющие абонентскую нагрузку на начальном этапе развертывания сети.

Исходные данные для расчета:

-Количество пользователей: 8000;

-Объем речевого трафика от абонента: $T_{\text{абголос}} = 20$ мЭрл ;

-Объем трафика видео вызова от абонента: $T_{\text{абвидео}} = 6$ мЭрл.

Для представления размерности пакетного трафика в Эрлангах использована формула:

$$T_{\text{эрл}} = T(\text{бит/ч})/R(\text{бит/с})/3600, \quad (5)$$

где $T_{\text{эрл}}$ – пакетный трафик (Эрл);
 $T_{\text{эрл}}$ -количество загруженной/выгруженной информации за час пользователем(бит/ч);
 R – скорость передачи пользователя.

-Объем пакетного трафика загружаемого(нисходящая линия) абонентом в ЧНН со скоростью передачи рассматриваемого сервиса 144 кбит/с. $T_{144\text{DL}}=500$ кбайт/час.

$$T_{144\text{DL}\text{эрл}}=8 \cdot 1000 \cdot T_{144\text{DL}}/(1000 \cdot 144)/3600=0,008 \text{ Эрл.}$$

-Объем пакетного трафика загружаемого(нисходящая линия) абонентом в ЧНН со скоростью передачи рассматриваемого сервиса 384 кбит/с. $T_{384\text{DL}}=500$ кбайт/час.

$$T_{384\text{DL}\text{эрл}}=8 \cdot 1000 \cdot T_{144\text{DL}}/(1000 \cdot 384)/3600=0,006 \text{ Эрл.}$$

-Объем пакетного трафика передаваемого(восходящая линия) абонентом в ЧНН со скоростью передачи рассматриваемого сервиса 144 кбит/с. $T_{144\text{UL}}=200$ кбайт/час.

$$T_{144\text{UL}\text{эрл}}=8 \cdot 1000 \cdot T_{144\text{UL}}/(1000 \cdot 144)/3600=0,003 \text{ Эрл.}$$

-Объем пакетного трафика передаваемого(восходящая линия) абонентом в ЧНН со скоростью передачи рассматриваемого сервиса 384 кбит/с. $T_{384\text{UL}}=200$ кбайт/час.

$$T_{384\text{UL}\text{эрл}}=8 \cdot 1000 \cdot T_{384\text{UL}}/(1000 \cdot 384)/3600=0,001 \text{ Эрл.}$$

- Требуемый процент блокировок вызова 2%.

5.6 Расчет максимально допустимых потерь в каналах Uplink, Downlink для сети UMTS

Основным требованием к сети UMTS является обеспечение заданного уровня качества QoS по всей зоне покрытия для любых услуг сети. В качестве анализа качественных характеристик QoS сети UMTS проводится оценка мощности сигнала для восходящего и нисходящего каналов зоны обслуживания базовой станций. Данная оценка является показателем качества

приема в зоне покрытия БС, который является ключевым показателем функционирования радиосети UMTS.

Приведем пример расчета для услуги с наиболее высокими требованиями к уровню покрытия – передача данных на скорости Downlink=3,6 Мбит/с, Uplink=480 кбит/с (услуга «Интернет»).

4.4.1 Расчет максимально допустимых потерь на трассе Uplink

Расчет осуществляется в несколько этапов.

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника БС определяется по формуле:

$$P_{\text{прбс}} = P_{\text{ш}} + \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\text{треб}} - G_{\text{обр}} + L_{\text{п}} - G_{\text{хо}}, \quad (6)$$

где $(E_b/N_0)_{\text{треб}}$ – требуемое значение E_b/N_0 ;

$G_{\text{обр}}$ – выигрыш от обработки сигнала;

$P_{\text{ш}}$ – мощность собственных шумов приемника;

$G_{\text{хо}}$ – выигрыш в уровне сигнала на приеме.

Для анализа был выбран тип оборудования базовых станций. Коэффициент шума приемника данной базовой станции менее 3 дБ. Минимально допустимое значение E_b/N_0 на входе приемника для данного типа сервиса составляет 1,8 дБ. Выигрыш от обработки сигнала $G_{\text{обр}}$ составляет 10,5 дБ. Величину выигрыша в уровне сигнала $G_{\text{хо}}$ примем 3 дБ.

С учетом вышеуказанных параметров, минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника БС равна: $P_{\text{прбс}} = -113,5$ дБмВт.

Требуемая мощность принимаемого сигнала определяется выражением:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{прбс}} + L_{\text{фидер}} - G_{\text{бс}} + L_{\text{фф}} \quad (7)$$

где $L_{\text{фидер}}$ - потери в фидере, 3 дБ;

$G_{\text{бс}}$ – коэффициент усиления антенны базовой станции, 18 дБ (для секторных антенн базовых станций);

$L_{\text{фф}}$ – запас на быстрые замирания, 3 дБ.

$P_{\text{пр}} = -124,5$ дБмВт.

Эффективно излучаемая мощность мобильной станции определяется выражением:

$$P_{\text{измс}} = P_{\text{мс}} + G_{\text{мс}} - L_{\text{тел}} \quad (8)$$

где $P_{\text{мс}}$ – мощность передатчика мобильной станции, для расчета взята минимальная мощность мобильной станции, определенная стандартом – 21 дБмВт;

$G_{мс}$ – коэффициент усиления антенны базовой станции, принят равным 0 дБ;

$L_{тел}$ – потери на затухание в теле абонента, для расчета $L_{тел}$ принят равным 3 дБ.

$$P_{измс} = 21 \text{ дБмВт.}$$

Максимально допустимые потери на трассе равны:

$$L = P_{измс} - P_{пр} = 145,5 \text{ дБ.}$$

4.4.2 Расчет максимально допустимых потерь на трассе радиолинии Downlink

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника МС определяется аналогичным выражением (как и для БС) [9]:

$$P_{прмс} (\text{дБмВт}) = P_{ш} (\text{дБмВт}) + \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{треб}} (\text{дБ}) - G_{обр} (\text{дБ}) \quad (9)$$

где $(E_b/N_0)_{\text{треб}}$ – минимально допустимое значение E_b/N_0 на входе приемника для данного типа сервиса составляет 4,8 дБ;

$G_{обр}$ – выигрыш от обработки, равен 10 дБ;

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника МС с учетом запаса на внутрисистемные помехи и выигрыша от мягкого хэндовера равна:

$$P_{прмс} = -104,4 \text{ дБмВт,}$$

Требуемая мощность принимаемого сигнала определяется выражением:

$$P_{пр} = P_{прмс} + L_{тело} - G_{мс} + L_{ff} \quad (10)$$

где $L_{тело}$ – потери на затухание в теле абонента. Для услуг по передаче данных $L_{тело} = 0$;

$G_{мс}$ – коэффициент усиления антенны мобильной станции, принято равным 0 дБ;

L_{ff} – запас на быстрые замирания, дБ;

$$P_{пр} = -101,4 \text{ дБмВт.}$$

Эффективно излучаемая мощность БС:

$$P_{избс} = P_{бс} + G_{бс} - L_{фидер} \quad (11)$$

где P_{bc} – мощность передатчика базовой станции на кодовый канал. Для данного типа сервиса величина максимальной мощности передатчика на кодовый канал составляет 40 дБмВт;

G_{bc} – коэффициент усиления антенны базовой станции;

$L_{фидер}$ – потери обусловленные затуханием в фидере;

$P_{избс} = 55$ дБмВт.

Допустимые потери на трассе:

$$L = P_{избс} - P_{пр} = 156,4 \text{ Дб}$$

В данном расчете не учитывались затенения сигнала препятствиями (здания, деревья и т.д), затухания вносимые стенами зданий для абонентов находящихся внутри помещений, так называемые медленные замирания. Значение запаса на медленные замирания для городской местности принимают равным $L_{sf}=10$ дБ.

Величина допустимых потерь на трассе равна:

$$L = L_{max} - L_{sf} - L_{зд} \quad (12)$$

где L_{max} – максимально допустимые потери на трассе;

$L_{зд}$ – потери на проникновение в здание;

L_{sf} – значение запаса на медленные замирания.

Для передачи данных на скорости DL=3,6 Мбит/с / UL=480 кбит/с получим значения допустимых потерь. Получили:

Для линии Uplink: $L_{UL} = 120,5$ дБ.

Для линии Downlink: $L_{DL} = 128,4$ дБ.

Для расчета зоны обслуживания берется меньшее из значений допустимых потерь в восходящей или нисходящей линии.

5.7 Расчет уровня сигнала в зоне покрытия БС

Для расчета уровня сигнала в зоне покрытия БС, определяют требуемый уровень пилотного сигнала (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. Выходная мощность БС составляет 43 дБмВт. Соответственно мощность пилотного сигнала равна $PCPICH=3,3$ дБмВт.

Мощность принимаемого пилотного сигнала для доступности услуги должна составлять:

$$P_{прCPICH} = P_{избс} - L_{max} + (P_{CPICH} - P_{bc})(\text{дБмВт}) \quad (13)$$

где $P_{избс}$ – эффективно излучаемая мощность БС на кодовый канал;

L_{max} – максимально допустимые потери на трассе;

P_{bc} – мощность передатчика БС на кодовый канал;

P_{CPICH} – мощность пилотного сигнала БС;

$P_{прCPICH} = -97,5$ дБмВт.

С учетом потерь на проникновение в здания и величины запаса на медленные замирания:

$$P_{прCPICH} = P_{избс} - L + (P_{CPICH} - P_{bc}) = -72,5 \text{ дБмВт.}$$

Таким образом, был проведен анализ качественных характеристик сети UMTS на основании оценки мощности сигнала для восходящего и нисходящего канала зоны обслуживания базовой станций.

Задача расчета нагрузки радиолиний это оценка максимальных допустимых потерь на трассе. Зная значение 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 и т.д. Результатом расчета является максимальные разрешенные потери на трассе.

Основные параметры, использующиеся в расчете:

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.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_{пр}}{I} \cdot \frac{W}{R}, \quad (14)$$

$$I_{UL} = I_{own} + I_{oth} + P_N, \quad (15)$$

$$I_{UL} = I_{own}(1 - \alpha) + I_{oth} + P_N, \quad (16)$$

где $P_{пр}$ – мощность принимаемого сигнала;

I – мощность помехи;

I_{own} – суммарная мощность полученная от обслуживающей соты (исключая собственный сигнал);

I_{oth} – суммарная мощность, полученная от других сот;

α – фактор ортогональности;

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. Однако, значения требуемого отношения E_b/N_0 определено спецификациями 3GPP(3GPP 25.101) для различных типов условий(типов радиоканала). Данные требования с учетом параметров оборудования представлены в таблице 4.1.

Т а б л и ц а 3 - Значения E_b/N_0 для различных типов услуг

Восходящая линия	E_b/N_0 ,дБ	E_b/N_0 ,дБ	E_b/N_0 ,дБ	E_b/N_0 ,дБ
тип сервиса	Телефония	64 кбит/с	144 кбит/с	384 кбит/с
скорость				
3 км/ч	4,4	2	1,4	1,7
120 км/ч	5,4	2,9	2,4	2,9
Нисходящая линия	E_b/N_0 ,дБ	E_b/N_0 ,дБ	E_b/N_0 ,дБ	E_b/N_0 ,дБ
тип сервиса	Телефония	64 кбит/с	144 кбит/с	384 кбит/с
скорость				
3 км/ч	7,9	5	4,7	4,8
120 км/ч	7,4	4,5	4,2	4,3

Требуемое значение E_b/N_0 зависит от:

- типа услуги(скорость передачи, требование к BER,BLER, метод канального кодирования);
- радиоканала (Скорость движения абонента, частота,);
- типа соединения (разнесенный прием, использование быстрого управление мощностью).

Требуемое отношение сигнал/шум вычисляется по формуле:

$$\frac{E_c}{I} = \frac{E_b}{N_0} \cdot \frac{R}{W} \quad (17)$$

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.

Вывод

Основные направления, которые были раскрыты в данной диссертации это развитие технологии UMTS в наше время возможности и области ее применение. В наше время UMTS продолжает развиваться и совершенствоваться, написание новых приложений протоколов и методов передачи данных с использованием новейшего оборудование делает данную систему конкурентоспособной на рынке сотовой связи, а так же в общем сегменте рынка связи. В технологии WCDMA как основной используемой системы на данный момент еще достаточно проблем, часть из которых уже решена или есть готовые решения для их устранения. Развитие предварительного расчета сети позволяет построить работоспособную виртуальную сеть и проанализировав проблемы возникающие в ней скорректировать их. Так после изготовления модели сети и ее построения можно избежать критических проблем в построении сети не создавая избыточные сети что позволяет экономить частотный ресурс.

Основные проблемы возникающие в уже построенной сети могут быть решены с помощью анализа уже работающего оборудования и его дальнейшей настройки. Оборудование, которое снимает замеры уровня сигнала качество передачи данных и общее качество работы сети, развито в данный момент на должном уровне и упрощает решение проблем возникающих в сети.

В экспериментальной части было рассмотрено влияние мобильности (скорость и направление движения) абонентской станции на качество и скорость передачи данных в технологии WCDMA. Проанализировав полученные данные, можно сказать, что самые благоприятные скорости для работы с мобильным интернетом это состояние покоя и движение при скорости более 80 км/ч. Наибольшая стабильность канала связи на скоростях 40-60 км/ч и более 80 км/ч, что видно из распределения коэффициента вариабельности в таблице 4. Решение проблемы падения скорости передачи информации, позволит в дальнейшем улучшить качество приема передаваемых данных.

Так же были проведены расчеты необходимые для построения оптимальной сети связи без избыточности. Необходимые решения для расчета данной сети и возможности реализации модели в реальной жизни.

Работа ориентирована на нахождение проблем и возможные решения их до построения физической сети мобильной связи.

Список литературы:

1. Chevallier C. WCDMA (UMTS) Deployment Handbook. Planning and optimization/Christophe Chevallier – John Wiley & Sons LTD, England, 2006 – 390 p.
2. Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения / Л.М. Невдяев, под ред. Ю.М. Горностаева. – М.: Международный центр научной и технической информации, ООО «Мобильные коммуникации», 2000 – 208 с.
3. Кааранен Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы / Х. Кааранен, А. Ахтиайнен, Л. Лаитинен, С. Найян, В. Ниemi. - М.: Техносфера, 2008 – 468 с.
4. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Статистическая физика. Часть 1. — Издание 5-е. — М.: Физматлит, 2001. — 616 с. — («Теоретическая физика», том V).
5. ETSI SMG 24. Concept group delta W-TD/CDMA: System description summary 1997. URL: <http://etsi.org>.
6. Naworocki M. Understanding UMTS radio network. Modelling, planning and automated optimization [текст]/ M. Naworocki, M. Dohler, A. Aghvami — Wiley, 2006. – 500 с.
7. 3GPP TS 23.002. Network architecture, v3.6.0, September 2002, URL: <http://www.3gpp.org>.
8. 3GPP TS 23.107 QoS Concept URL: www.3gpp.org, v5, 2002
9. HSDPA/HSUPA for UMTS. High Speed Radio Access for Mobile Communications. Ericsson Networks. Sweden
10. Невдяев Л. Мобильная связь третьего поколения - М.: МЦНТИ 2000.
11. http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/tsg_ran/TSGR_20/Docs/PDF/RP-030375.pdf
12. Высокоскоростные сети мобильной связи поколения 3G. http://www.wireless-e.ru/articles/equipment/2011_02_5.php
13. Услуги и области применения UMTS. <http://wcdma3g.ru/index.php?topic=glava2&page=1>
14. http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/tsg_ran/TSGR_20/Docs/PDF/RP-030375.pdf. (HSDPA)

Приложение А

Скриншоты программы Tems Investigation 11.0.1

