

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра Телекоммуникационные системы

Специальность 6М071900 Радиотехники, электроники и телекоммуникации

Допущен к защите

Зав. кафедрой Шагиахметов Д.Р.

«_____» _____ 20__ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

пояснительная записка

Тема: Исследование сетей четвертого поколения на базе технологий
LTE

Магистрант _____ Казыбекова А.Е.

Руководитель _____ Есеркегенов А.С. к.т.н, доцент

Рецензент _____ Касимов А.О. к.т.н

Консультант по ВТ _____ Данько Е.Т. к.х.н

Нормоконтроль _____ Кудинова В.С. к.х.н.

Алматы 2014г.

Аннотация

В данной работе рассмотрены возможности сетей четвертого поколения, принцип работы сети и технологий LTE. Определены зависимости скорости приема/передачи трафика от дальности базовой станций. Рассчитаны режимы работы нисходящей и восходящей линий связи LTE.

В экспериментальном исследовании проведены измерения зависимости скорости передачи сигнала от дальности связи.

Аңдатпа

Айтылмыш жұмыста төртінші кезеңдегі желілердің мүмкіндіктері және LTE технологиясының жұмыс ұстанымы қарастырылған. Трафиктың беріліс жылдамдығы негіздік бекеттердің алшақтығына тәуелді тағайындалады. Жұмыстың режимдері нисходящей және өрлемелі LTE байланысының сызықтарының өлшеулі.

Эксперименталді зертте- белгінің берілісінің жылдамдығының тәуелділігінің өлшет- байланыстың алшақтығынан өткіздір-өткізу.

Abstract

In this paper we have considered the fourth-generation networks opportunities, the principle of network's operation and the LTE technology. The dependence of the speed of the transmit/receive traffic from the base transceiver stations was defined. Downlink and uplink LTE work modes were calculated. In a pilot study the dependence between the signal transmission speed and the communication range was measured.

Содержание

Введение.....	8
1 Основная часть.....	9
1.1 Действующие сети в мире.....	9
1.2 Структура и принцип работы сети.....	
1.3 Мировой рынок LTE-оборудования.....	
1.4 Различные технологические режимы.....	
1.5 Особенности LTE-Advanced.....	
2 Экспериментальная часть.....	
3 Расчетная часть.....	
3.1 Расчет зоны покрытия сети LTE в городе.....	
3.1.1 Оценка допустимой скорости передачи в канале сети LTE для «близких» и «далеких» пользователей в области и.....	
3.2 Расчет энергетического бюджета для сети LTE.....	
3.2.1 Расчет чувствительности приемника LTE.....	
3.2.2 Расчет максимально допустимых потерь сети LTE.....	
3.2.3 Расчет восходящей линии (UL).....	
3.2.4 Расчет нисходящей радиолинии (DL).....	
3.2.5 Оценка емкости сети LTE.....	
Заключение	
Список литературы.....	

Введение

С развитием человечества увеличился спрос на оказание услуг в сферах связи и интернета, что привело к бурному развитию различных технологий фиксированной и мобильной связи. Особенную и огромную роль в наше время занимает сфера интернета, в которой осуществляется обмен данными, просмотр потоковых видеофайлов, а так же оказание в режиме онлайн всевозможных услуг компаний.

Сети, которые существовали до сих пор, не могли объединить в себе все эти возможности. В 2008 году международное объединение Third Generation Partnership Project (3GPP), разрабатывающее перспективные стандарты мобильной связи, утвердило LTE, как сеть четвертого поколения после 3G.

Long Term Evolution(долговременное развитие) – это интеграция с уже существующими протоколами, повышение скорости и эффективности передачи данных, снижение издержек, а так же улучшение и расширение оказываемых услуг. Сервисы, которые может предложить сеть четвертого поколения, начинаются от передачи голоса и данных до мультимедиа и видео. Для реализаций этих требований сеть должна иметь высокую скорость приема/передачи сигнала. В идеале технология LTE может предоставить скорость передачи 173 Мбит/с на приеме и 58 Мбит/с на передачу. Достоинством сети является не только высокая скорость, но и радиус покрытия базовой станций от 5 км до 30 км. В данной работе рассматривается архитектура сети LTE, различные технологические режимы и возможности сети в реальных городских условиях с плотной застройкой.

1 Основная часть

1.1 Анализ сетей LTE, действующих в мире

14 декабря 2009 г., состоялся запуск первой в мире мобильной сети на базе технологии Long Term Evolution (LTE). Сеть была введена в эксплуатацию оператором TeliaSonera в центре Стокгольма. Телекоммуникационное оборудование предоставлено шведской компанией Ericsson в рамках контракта, заключенного в начале 2009 года. Изначально осуществить коммерческий запуск первой в мире LTE-сети планировалось в 2010 г., но сторонам удалось опередить график. Ericsson предоставила базовые станции, опорное оборудование, коммутаторы, систему эксплуатации и управления. Все решения были созданы на основе стандартов, учрежденных всемирной организацией 3GPP. Воспользоваться новой технологией жители Стокгольма смогли посредством LTE-модемов Samsung, пройденных тестирование на работоспособность в сети TeliaSonera в октябре 2009 года. Для подключения к ноутбукам в модемах предусмотрен USB-интерфейс. По словам официальных представителей TeliaSonera, запущенная ими LTE-сеть позволило легко пользоваться такими услугами как «видео по требованию», обеспечивая потоковую передачу без задержек видео в HD-разрешении.

Одна из первых LTE-сетей была запущена американской компанией Verizon. По состоянию на начало декабря 2010 г. сеть охватывала 38 американских городов, предлагая скорость передачи данных 5-12 Мбит/с в нисходящем и 2-5 Мбит/с в восходящем канале.

Несмотря на то, что последних годах тестирование LTE и запуск пилотных проектов проводились в большинстве стран мира, подтверждением результатов внедрения технологии, считается запуск сети в коммерческую эксплуатацию. К примеру, по данным Глобальной Ассоциации Поставщиков мобильного оборудования (Global mobile Suppliers Association, GSA) к сентябрю 2012 года сети LTE в коммерческую эксплуатацию запустили 96 операторов в 46 странах мира. В этом списке такие страны как: Австралия, Азербайджан, Армения, Австрия, Бразилия, Великобритания, Германия, Гонконг, Дания, Индия, Канада, Киргизия, Латвия, Литва, Норвегия, ОАЭ, Польша, Россия, Саудовская Аравия, Сингапур, США, Оман, Узбекистан, Филиппины, Финляндия, Швеция, Эстония, Южная Корея и Япония. На сегодняшний день 347 операторов в 104 странах мира инвестируют в LTE. Из них 292 оператора в 93 странах готовятся приступить к коммерческой эксплуатации.

Число операторов, развернувших сети LTE в сравнении с предыдущим годом увеличилось на 23%. В течение последних 12 месяцев 68 операторов запустили LTE в коммерческую эксплуатацию. По прогнозам GSA до конца 2013 года количество коммерческих LTE сетей составило 152 в 65 странах.

В Узбекистане для организаций системы сотовой связи работает компания с июля 2010 Huawei Technologies, которая является поставщиком

оборудования и оператором связи МТС. В Кыргызстане с декабря 2011 года, в качестве оператора связи работает компания «Saima-Telecom», оборудование поставляет компания Huawei Technologies. Они эксплуатируют систему LTE в коммерческих целях. В Казахстане же внедрение LTE идёт медленно, хотя казахстанский рынок является ведущим по развитию информационно-коммуникационных технологий в центрально-азиатском регионе. Например, в 2005 году компания АО «Казахтелеком» впервые в регионе предоставила высокоскоростной Интернет (услуга «Megaline»). Сети LTE построены в конце 2012 года — в городах Астана, Алматы. В дальнейшем до 1 января 2014 года — во всех областных центрах республики; до 1 января 2015 года — в населённых пунктах с численностью населения от 50 тысяч и более; до 1 января 2018 года — во всех районных центрах.

«Казахтелеком» планирует увеличить свою долю на рынке мобильной связи до 22%. При этом стоимость проекта по запуску LTE в Казахстане примерно оценивается в 60 млрд. тенге, из них 15-20 млрд. уже использованы в 2012 году.

Так как в Казахстане не так давно операторы инвестировали и внедрили сети стандарта 3G, то не вызовет ли развитие технологий системы LTE не нужные затраты. Достоинство LTE, заключается в том, что используется та же инфраструктура сетей 3G, а так же, современные абонентские устройства способны работать как в сети 3G, так и в сети LTE. Таким образом, мобильные операторы Казахстана в случае скорого получения лицензии на LTE пойдут по правильному пути, и будут предоставлять услуги и 3G, и 4G одновременно.

Интеграция двух технологий позволяет операторам мобильной связи осуществлять работу существующей сети 3G, тем самым возвращать вложенные в них инвестиции, и параллельно внедрять LTE, предлагая её продвинутым и наиболее платёжеспособным абонентам. По такому принципу работают Telia (Telia-Sonera) в Швеции, Verizon в США, и VivaCell- MTS в Армении. Операторы этих стран выпускают SIM-карты, позволяющие работать устройству как в сети LTE, так и в 3G. Это в свою очередь позволяет мобильному абоненту перемещаться в зоне LTE и при покидании её продолжать оставаться Online через 3G-сервисы, но с меньшей скоростью доступа. Для абонента это удобно, так как не требуется замена SIM-карты или подключение к другому оператору.

1.2 Структура и принцип работы сети

Сотовые сети стандарта GSM по своей структуре изначально не были предназначены для мобильного интернета. Соответственно, в наши дни операторы сотовой связи вынуждены с целью удовлетворения потребностей населения вкладывать огромные деньги в модернизацию своих сетей до 3G (UMTS), а теперь уже и до 4G (LTE). Само собой, данные капиталовложения

сотовые компании щедро заимствуют из наших с вами карманов, однако их работа тоже при этом весьма не легка.

Сейчас, когда внедрение сетей третьего поколения еще до конца в Казахстане не закончено, операторы уже приступили к работе над сетями следующего поколения – 4G или LTE.

LTE является следующим после 3G поколением мобильной связи и работает на базе IP-технологий. Основное отличие LTE от предшественников – высокая скорость передачи данных. Теоретически она составляет до 326,4 Мбит/с на прием (download) и 172,8 Мбит/с на передачу (upload) информации. При этом в международном стандарте указаны цифры в 173 и 58 Мбит/с, соответственно. Данный стандарт связи четвертого поколения разработало и утвердило Международное партнерское объединение 3GPP.

Давайте разберемся, в чем же состоит главная особенность стандарта LTE. Так же как и в сетях 3G главным звеном в LTE можно назвать технологию кодирования и передачи данных OFDM-MIMO.

OFDM расшифровывается как Orthogonal Frequency-division Multiplexing и по-русски означает ортогональное частотное разделение каналов с мультиплексированием. Это цифровая схема модуляции, использующая близко расположенные друг от друга ортогональные поднесущие в большом количестве. Все поднесущие моделируются по стандартной схеме модуляции, такой как квадратурная амплитудная модуляция на небольшой символьной скорости с соблюдением общей скорости передачи данных, как и в простых схемах модуляции одной несущей в этой же самой полосе пропускания. В действительности сигналы OFDM генерируются благодаря применению "Быстрого преобразования Фурье".

В сети LTE в качестве основного используется метод, разработанный фирмой Intersil и получивший название Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) — мультиплексирование с ортогональным частотным разделением сигналов. Принцип модуляции сигнала OFDM показан на рис. 2-4 [7].

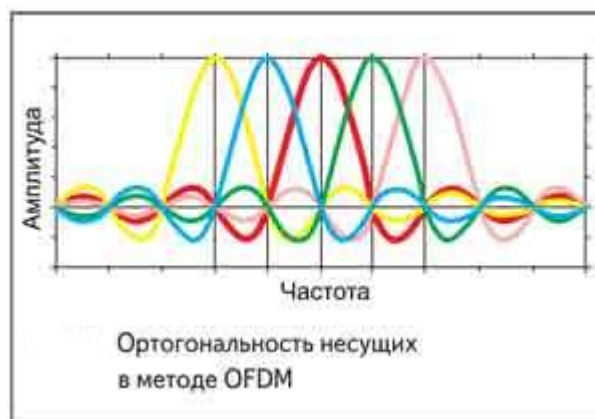


Рисунок 1.1 – Ортогональность несущих в методе OFDM

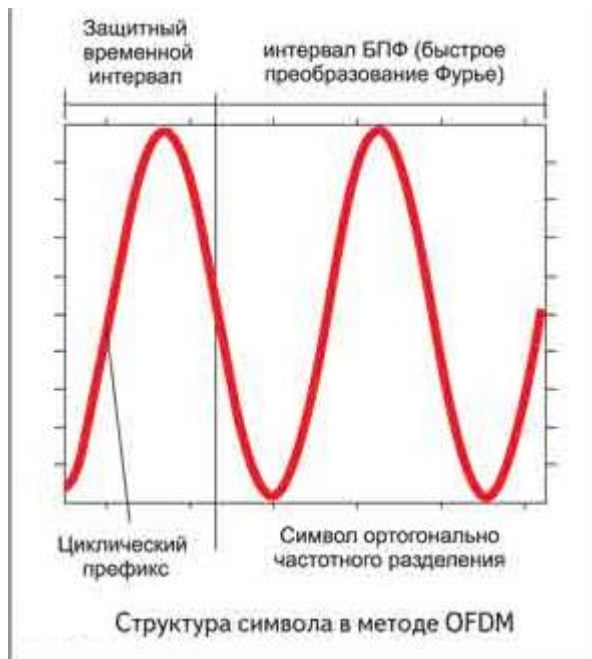


Рисунок 1.2 – Структура символа в методе OFDM



Рисунок 1.3 – Структура спектрального разбиения по каналам в методе OFDM

Весь диапазон частот разбивается на поднесущие, которые хотя частично и перекрываются, но находятся в ортогональном положении относительно друг друга. Ортогональность несущих сигналов обеспечивается в том случае, когда за время длительности одного символа несущий сигнал будет совершать целое число колебаний. Для реализации метода в передающих устройствах используется обратное быстрое преобразование Фурье (IFFT), которое переводит предварительно мультиплексированный на одном из каналов сигнал из временного представления в частотное. Таким образом, там, где одна поднесущая имеет максимум амплитуды, соседняя

поднесущая имеет нулевое значение. Информация в данном методе передается в виде так называемых OFDM-символов.

Перед символом постоянно заносится префикс. Для защиты от возникновения межсимвольных коллизий в технологии OFDM вводится понятие охранного интервала (Guard Interval, GI), в течение которого будет идти циклическое повторение OFDM. Префикс добавляется к передаваемому символу в передатчике и удаляется при приеме символа в приемнике. Охранный интервал снижает скорость передачи данных.

Данная технология описывает направление сигнала от базовой станции (БС) к вашему мобильному телефону. Что же касается обратного пути сигнала, т.е. уже от телефонного аппарата к базовой станции, техническим разработчикам пришлось отказаться от системы OFDM и воспользоваться другой технологией под названием SC-FDMA. В расшифровке она читается как Single-carrier FDMA и в переводе означает мультиплексирование на одной несущей. Смысл ее в том, что при сложении большого количества ортогональных поднесущих образуется сигнал с большим пик-фактором (отношением амплитуды сигнала к своему среднеквадратичному значению). Для того чтобы такой сигнал мог передаваться без помех необходим высококлассный и довольно дорогой высоколинейный передатчик.

Также в LTE применяется технология MIMO как и в других беспроводных локальных сетях стандарта IEEE 802.11n и в беспроводных сетях мобильной связи WiMAX .

MIMO - Multiple Input Multiple Output – представляет собой технологию передачи данных с помощью N-антенн и приема информации M-антеннами. При этом принимающие и передающие сигнал антенны разнесены между собой на такое расстояние, чтобы получить слабую степень корреляции между соседними антеннами.

Применение технологий MIMO (multiple input – multiple output) решает две задачи:

- увеличение качества связи за счет пространственного временного/ частотного кодирования и (или) формирования лучей (beamforming);

- повышение скорости передачи при применении пространственного мультиплексирования.

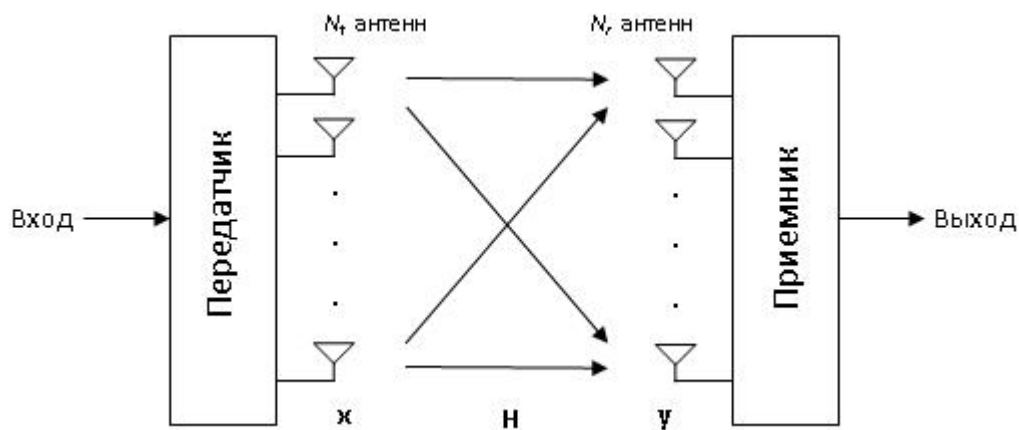


Рисунок 1.4 – MIMO структура

На данный момент под сети 4G уже зарезервированы диапазоны частот. Наиболее приоритетными принято считать частоты в районе 2,3 ГГц. Здесь главным примером является Китай со своим сотовым оператором China Mobile, уже выделившим нужный частотный диапазон и проводящий тестовое вещание. С учетом огромного объема местного потребления сотовой связи использование данной частоты обречено на успех и преобладание в Китае.

Другой перспективный диапазон частот – 2,5 ГГц применяется в США, Европе, Японии и Индии. Имеется еще частотная полоса в районе 2,1 ГГц, но она сравнительно небольшая – доступны лишь 15 МГц в диапазоне 2,1 ГГц, а большинство европейских мобильных операторов ограничивают в этом диапазоне полосы до 5 МГц. В будущем, скорее всего, наиболее используемым будет частотный диапазон 3,5 ГГц. Это связано с тем, что на данных частотах в большинстве стран уже используются сети беспроводного широкополосного доступа в интернет и благодаря переходу в LTE операторы получают возможность вновь применять свои частоты без необходимости приобретения новых дорогих лицензий. В случае необходимости под сети LTE могут быть выделены и другие диапазоны частот.

В отношении используемых полос частот и методов распределения в LTE все довольно непонятно и противоречиво, т.к. сам стандарт достаточно гибкий. В разных структурах сети четвертого поколения могут базироваться на полосах частот в диапазоне от 1,4 до 20 МГц, в отличие от фиксированных 5 МГц в 3G (UMTS). Также имеется возможность применения как временного разделения сигналов TDD (Time Division Duplex – дуплексный канал с временным разделением), так и частотного – FDD (Frequency Division Duplex – дуплексный канал с частотным разделением). Например, сеть LTE, строящаяся в Китае, стандарта TD-LTE.

Зона обслуживания базовой станции сети LTE может быть разной. Обычно она составляет около 5 км, но в ряде случаев она может быть увеличена до 30 и даже 100 км, в случае высокого расположения антенн (секторов) базовой станции.

Другое позитивное отличие LTE – большой выбор терминалов. Помимо сотовых телефонов, в сетях LTE будут использоваться многие другие устройства, такие как ноутбуки, планшетные компьютеры, игровые устройства и видекамеры, снабженные встроенным модулем поддержки сетей LTE. А так как технология LTE обладает поддержкой хендовера и роуминга с сотовыми сетями предыдущих поколений, все данные устройства смогут работать и в сетях 2G/3G.

Схема сетей 4G (LTE) выглядит следующим образом:

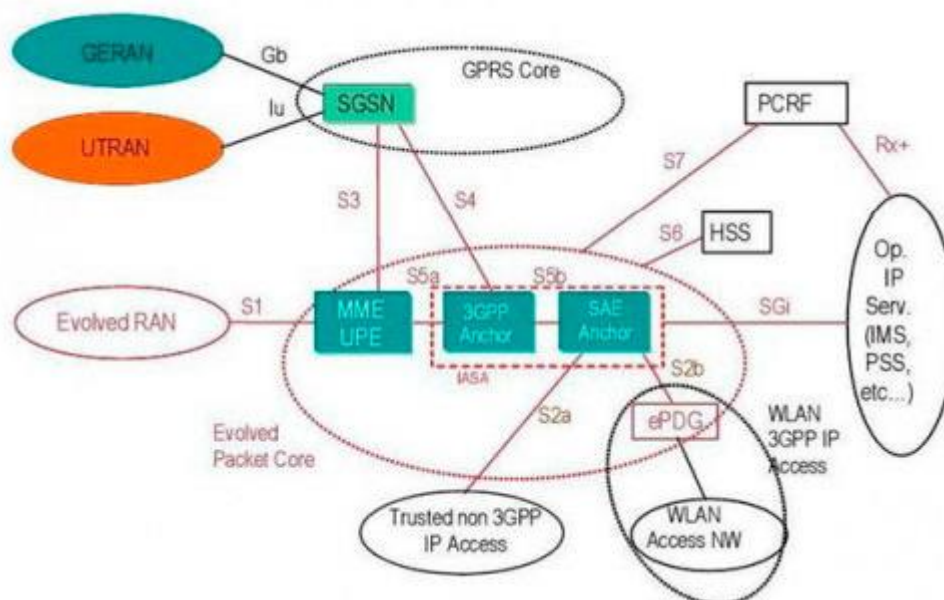


Рисунок 1.5 - Схема сетей 4G (LTE)

Как видно из данной схемы, сети LTE включают в себя модули сетей 2,75G (EDGE) и 3G (UMTS). Из-за данной особенности строительство сетей четвертого поколения будет достаточно специфичным и походит скорее на следующую ступень развития сегодняшних технологий, нежели на что-то принципиально новое.

К примеру, в соответствии с такой структурой, звонок или интернет-сессия в зоне действия сети LTE может быть без разрыва соединения передана в сеть 3G (UMTS) или 2G (GSM). Кроме того, сети LTE довольно легко интегрируются с сетями WI-FI (обозначение WLAN Access NW на вышеприведенной схеме) и Интернет.

Остановимся на подсистеме радиодоступа более подробно. По своей структуре сеть радиодоступа RAN - Radio Access Network – выглядит аналогично сети UTRAN UMTS, или eUTRAN, но имеет одно дополнение: приемо-передающие антенны базовых станций взаимосвязаны по определенному протоколу X2, который объединяет их в сотовую сеть - Mesh Network – и дает возможность базовым станциям обмениваться данными между собой напрямую, не задействуя для этого контроллер RNC - Radio Network Controller.

К тому же взаимосвязь базовых станций с системой управления мобильными устройствами MME - Mobility Management Entity - и сервисными шлюзами S-GW - Serving Gateway – осуществляется путем «многих со многими», что позволяет получить большую скорость связи с небольшими задержками[6].

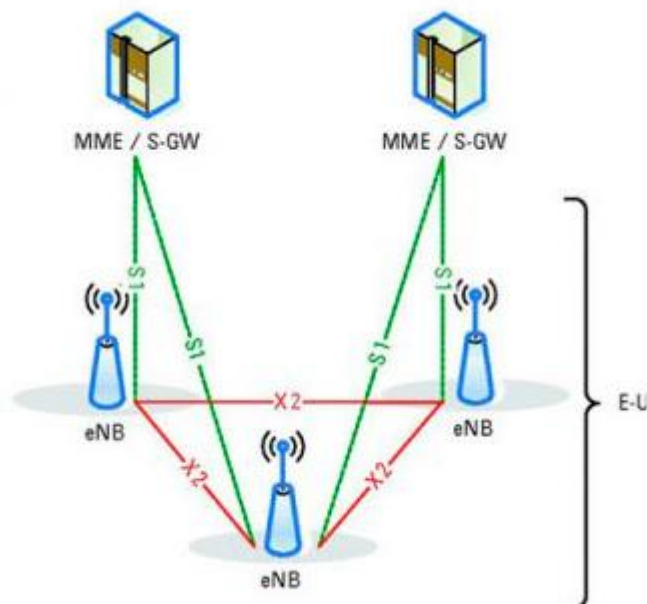


Рисунок 1.6 -

Наверняка многим из вас стало интересно, почему будущее именно за LTE? Ведь буквально год-два назад все считали стандартом 4G технологию WiMAX, хорошо известную такими провайдерами широкополосного беспроводного интернета, как Yota и Комстар.

В действительности стандарты LTE и WiMAX достаточно близки между собой. Они оба используют технологию кодирования OFDM и систему передачи данных MIMO. И в том, и в другом стандарте применяются FDD и TDD-дуплекирование при пропускной способности канала до 20 МГц. И обе из систем связи используют в роли своего протокола IP. Соответственно, обе технологии в реальности одинаково хорошо применяют свой частотный диапазон и обеспечивают сравнимую скорость передачи данных интернет-доступа. Но, конечно, есть у них и кое-какие отличия.

Одним из таких отличий является гораздо более простая инфраструктура сети WiMAX, а, следовательно, и более надежная технически. Данная простота стандарта обеспечивается его предназначением исключительно для передачи данных. С другой стороны, «сложности» LTE нужны для обеспечения ее совместимости со стандартами предыдущих поколений – GSM и 3G. И данная совместимость нам с вами, безусловно, потребуется.

Существуют и другие детали в различии между LTE и WiMAX. Например, диспетчеризация радиочастотных ресурсов. В WiMAX она

производится по технологии Frequency Diversity Scheduling, согласно которой поднесущие, предоставляемые абоненту, распределяются по всему спектру канала. Это необходимо для рандомизации и усреднения влияния частотно-селективных замираний на широкополосный канал.

В сетях LTE применена другая технология устранения частотно-селективных замираний. Она называется частотно-селективной диспетчеризацией ресурсов - Frequency Selective Scheduling. При этом для каждой абонентской станции и каждого частотного блока несущей создаются индикаторы качества канала CQI - Channel Quality Indicator.

Еще одним очень важным моментом, связанным с планированием сетей связи массового использования – коэффициент переиспользования частот. Его роль – показывать эффективность использования доступной полосы радиочастот для каждой базовой станции в отдельности.

Базовая структура переиспользования частотного диапазона WiMAX состоит из 3-х частотных каналов. При использовании трехсекторной конфигурации сайтов (базовых станций определенного частотного диапазона), в каждом из секторов реализован один из 3-х частотных каналов. При этом коэффициент переиспользования частот равняется 3-м. Иными словами, в каждой из точек пространства имеется лишь треть радиочастотного диапазона.

Работа сотовой сети LTE (4G) производится с коэффициентом переиспользования частот равном 1. То есть, получается, что все базовые станции LTE работают на одной несущей. Внутрисистемные помехи в подобной системе сводятся к минимуму благодаря частотно-селективной диспетчеризации, гибкому частотному плану и координации помех между отдельными сотами. Абонентам в центре каждой соты могут даваться ресурсы из всей полосы свободного канала, а пользователям на краях сот предоставляются частоты только из определенных поддиапазонов.

Перечисленные выше особенности сетей LTE и WiMAX оказывают большое влияние на одну из их главных характеристик – степень радиопокрытия. Отталкиваясь от данного параметра определяется необходимое количество базовых станций для качественного покрытия конкретной территории. Соответственно, он напрямую влияет и на конечную стоимость строительства сетей LTE.

Согласно расчетам, сеть LTE способна обеспечить лучшую зону покрытия при одинаковом числе базовых станций, что является несомненным плюсом для всех операторов сотовой связи.

1.3 Мировой рынок LTE-оборудования

На заре своего развития технология LTE конкурировала с технологией WiMax. В Nokia уже тогда отдавали предпочтение LTE, считая, что именно эта технология займет доминирующее положение к 2015 г. Intel делала ставку

на WiMAX. Противостояние между LTE и WiMAX напоминало войну форматов VHS и Betamax, Blu-ray и HD DVD.

Согласно отчету о развитии LTE ассоциации GSA (Global Mobile Supplier Association) за 12 октября 2011 года, Huawei занимает первое место на рынке оборудования для LTE с долей 50%.

Объем мирового рынка операторского оборудования для сетей стандарта LTE в денежном выражении в 2014 г. достигнет \$27,9 млрд, увеличившись в 18,6 раза по сравнению с показателем 2010 г., прогнозирует IHS iSuppli. В 2010 г. объем рынка составил \$1,5 млрд.

Основным рынком сбыта до 2011 г. являлись США. По данным аналитиков, в 2009 г. американские компании приобрели технику в общей сложности на \$90 млн, тогда как объем рынка составил \$97 млн. В 2011 г. расходы на развертывание LTE-сетей в США вырастут до \$1,7 млрд, составив чуть менее половины от общемирового показателя в \$3,8 млрд. К концу прогнозируемого периода на США будет приходиться менее 20% всех расходов.

«Переход на сети мобильной связи четвертого поколения (4G), включая LTE, не может произойти в одночасье, - говорит старший аналитик IHS iSuppli Джэгдиш Ребелло (Jagdish Rebello). - Операторам приходится поддерживать множество технологий одновременно - в большинстве случаев технологии 2.5G, 3.5G и 4G».

В связи с этим, отмечает аналитик, все большее распространение получают решения, способные сделать переход на LTE более гибким и менее болезненным. Более того, некоторые поставщики выпускают оборудование, позволяющее построить LTE-сеть при любой существующей инфраструктуре.

Вместе с тем операторы стараются с большей осторожностью подходить к формированию тарифных планов и возможностей сетей, пытаясь отстраниться от модели, при которой они выполняли функцию банального посредника при передаче трафика, говорит Ребелло. Наиболее ярким примером в этом плане является AT&T, которая неоднократно жаловалась на то, что не в состоянии качественно обслужить всех пользователей iPhone.

Для того чтобы улучшить пропускную способность сетей, компании предлагают тарифные планы, стоимость которых зависит от максимальной скорости передачи данных. В конечном счете у операторов есть только один выход, считает аналитик, - переход к «интеллектуальным» сетям, способным при меньшей пропускной способности предлагать услуги гарантированного качества.

Во многих странах развитие LTE замедляет вопрос приобретения лицензий на LTE-частоты и относительная дороговизна абонентского оборудования.

Мобильные устройства, такие как смартфоны и планшеты, более или менее успешно прокладывают дорогу к карманам потребителей, потому что LTE в них является приятным передовым дополнением, не очень заметным на

фоне общей цены устройства. Стационарный доступ в Интернет через LTE, тоже очень интересен широким кругам пользователей. По данным Глобальной ассоциации поставщиков мобильного оборудования, в 2011 году было зарегистрировано 197 абонентских устройств LTE, предлагаемых 48 компаниями-производителями. Казалось бы, «выбирай, не хочу». Но в реальности рынки отбирают только самые необходимые и проверенные решения.

USB-модемы изначально призваны обеспечивать сеансовый доступ в Интернет через LTE или 3G для отдельных, персональных ноутбуков и компьютеров, как мобильных, так и стационарных. Если нужно с помощью одной SIM-карты подключить несколько компьютеров, например, в квартире или офисе, требуется 3G/4G-маршрутизатор, оборудованный слотом для SIM-карты и встроенным модемом. Эти устройства не были востребованы рынком за предыдущие годы развития доступа через 3G и WiMAX, что выливалось в их достаточно высокую стоимость. С переходом на LTE, картина с ценой пока не сильно изменилась.

Качество приёма и передачи сигнала будет во многом зависеть от расположения внутри помещения относительно окон, выходящих на базовую станцию. Для малоэтажной застройки и мест с затруднённым приёмом в годы развития WiMAX-сетей были предложены так называемые уличные модемы. Обычно они состоят из двух блоков: всепогодного уличного, включающего мощную направленную антенну, и комнатного, связанного с уличным — кабелем. Антенна уличного блока может быть вынесена на мачту и направляется на базовую станцию, а комнатный блок, обычно включающий маршрутизатор, коммутатор Ethernet и точку доступа Wi-Fi, может быть расположен в любой комнате жилища или офиса.

Упомянутые выше USB-модемы LTE/3G давно и успешно работают при подключении к некоторым специально адаптированным домашним Wi-Fi-маршрутизаторам, оборудованным портом USB. Это наиболее доступный по цене (общая цена модема и маршрутизатора существенно ниже цены специализированных LTE-устройств) и универсальный (модем в любой момент можно вынуть и использовать в дороге с ноутбуком) способ. Среди наиболее удачных маршрутизаторов, поддерживающих LTE/3G -модемы, можно назвать D-Link DIR-300 и DIR-620 и ZyXEL серии Keenetic. Списки поддерживаемых USB-модемов регулярно обновляются и могут быть изучены на сайтах производителей маршрутизаторов.

LTE достигает 326,4 Мбит в секунду на приём и 172,8 Мбит в секунду на отдачу данных. Радиус действия установленной базовой станции LTE может различаться в зависимости от используемых частот, мощности сигнала и радиоусловий в каждом отдельном случае. Как правило, этот показатель составляет около 5 километров, однако при достаточном поднятии антенны и мощности сигнала может достигать 30 и даже 100 километров. Вслед за модемами в продаже появились первые смартфоны с поддержкой LTE. Одним из них стал HTC Thunderbolt 4G с процессором 1 ГГц и дисплеем 4,3 дюйма. В

течение 2011 г. некоторые вендоры планируют выпустить первые планшеты с поддержкой нового стандарта.

На июнь 2012 года, по данным глобальной ассоциации поставщиков мобильного оборудования GSA, в 37 странах развернуто 72 коммерческих сети LTE, но крупных сетей не так уж много. На планете насчитывается всего десяток мегаполисов, где услуги 4G доступны абонентам, и Москва входит в их число. А всего в мире инвестировали в LTE уже 319 операторов в 97 странах. Из них 258 операторов готовятся в ближайшее время приступить к коммерческой эксплуатации сетей LTE; 61 компания проводит тестовые испытания своих сетей.

1.4 Различные технологические режимы

Одно из главных преимуществ этой технологии — возможность использовать широкий диапазон частот — обернулась для участников рынка большими проблемами. LTE поддерживает несколько десятков рабочих диапазонов и два технологических режима — дуплексный с частотным разделением (FDD) и дуплексный с временным разделением (TDD) каналов. Разные операторы в пределах одной страны (или в разных странах) внедряют различные варианты LTE, исходя из местных условий загруженности радиочастотного спектра и предписаний регулятора. В этом мультичастотном хаосе обеспечение бесшовного роуминга для абонентов становится сложнейшей, а подчас невыполнимой задачей. Вряд ли кто-то из производителей терминалов начнет выпускать устройства с поддержкой нескольких, пусть даже самых популярных диапазонов частот и режимов LTE — FDD и TDD. К примеру, планшеты iPad3 с поддержкой LTE ориентированы главным образом на американский рынок, и их владельцы в России не смогут подключиться к сетям 4G отечественных операторов.

Одним из недостатков сети является невозможность передачи голоса. На июнь 2013 года 63 компании представили на мировом рынке 347 терминалов для работы в сетях LTE, и подавляющее большинство из них — это модемы, маршрутизаторы, фемтосоты, ноутбуки и планшеты для беспроводного доступа в Интернет и других услуг, ориентированных на передачу данных. Только 64 модели из имеющихся на рынке устройств — смартфоны. Но голосовой трафик по сетям LTE они передавать не могут (за исключением приложений VoIP). Отсутствие стандартных подходов в вопросах передачи голоса — ахиллесова пята LTE.

1.5 Преимущества LTE для абонентов

Летом 2012 года аналитическое агентство Informa Telecoms & Media и разработчик приложений для смартфонов Movidia подготовили исследование, посвященное трендам в области мобильных данных. Авторы отчета проанализировали информацию, поступившую от 1,5 млн пользователей,

которые скачали мобильное приложение Mobidia My Data Manager. Таким образом, в исследовании приняли участие абоненты более чем 600 сотовых операторов по всему миру.

Главная закономерность, которую отметили аналитики, заключается в том, что развертывание LTE-сетей и распространение соответствующих устройств приводит к росту интернет-трафика на 50% и больше. При этом высокие скорости в мобильных сетях четвертого поколения позволяют владельцам телефонов использовать приложения, применение которых ранее было ограничено сетями Wi-Fi.

На лето 2012 года пользователи мобильных устройств предпочитают выходить в сеть с помощью хот-спотов Wi-Fi. Лучше всего это видно на примере владельцев iPhone: у них диспропорция трафика через сотовые сети и Wi-Fi может достигать гигантских значений.

Услуги, предоставляемые сетями LTE, имеют более широкий спектр по сравнению с сетями 2G/3G. В первую очередь это связано с высокой пропускной способностью сети и повышенной скоростью передачи данных, а так же с переходом на концепцию «все через IP». Основными услугами, предоставляемых сетью LTE являются следующие:

- пакетная передача речи;
- передача Интернет-файлов;
- доставка электронной почты;
- передача мультимедийных сообщений;
- мультимедийное вещание, включающее в себя потоковые услуги, услуги по загрузке файлов, телевизионные услуги;
- потоковое видео;
- VoIP и высококачественные видеоконференции;
- онлайн-игры через мобильные и фиксированные терминалы различных типов;
- мобильные платежи с высокой передачей реквизитов и идентификационной информации.

Чтобы удержать рынок мобильного интернета, сотовым операторам необходимо вкладываться в инфраструктуру высокоскоростных сетей LTE, Провайдерам связи также следует продвигать мобильные приложения, которые за счет непрерывности сотовой сети LTE дают пользователям дополнительные возможности, рекомендует эксперт. Наконец, надо правильно формировать ценовую политику, чтобы абоненты активнее использовали сотовый интернет.

1.5 Особенности LTE-Advanced

Стандарт LTE-Advanced (LTE-A) является дальнейшим развитием стандарта LTE, разработанного на основе технологии 3GPP. LTE-A будет соответствовать или превышать требования Международного союза электросвязи (МСЭ) к стандарту радиосвязи четвертого поколения (4G), известного как IMT-Advanced. LTE-Advanced был изначально определен как часть версии 10 спецификаций 3GPP с приостановленной до марта 2011 г. конкретизацией функций. Спецификации LTE будут развиваться в последующих выпусках 3GPP.

В октябре 2009 г. партнеры 3GPP официально представили LTE-Advanced для сектора радиосвязи МСЭ (МСЭ-Р) в качестве кандидата на 4G IMT-Advanced. Публикация МСЭ спецификации IMT-Advanced ожидается к марту 2011 г. Поскольку все больше операторов беспроводной связи объявляет о планах по развертыванию LTE в сетях следующего поколения, интерес к LTE-Advanced растет.

Ниже приводится наиболее важная информация из рекомендаций по применению компании Agilent по этой теме.

Что нового в LTE-Advanced

В технико-экономическом обосновании для LTE-Advanced партнеры 3GPP определили, что LTE-Advanced будет соответствовать требованиям МСЭ-Р к 4G. Результаты исследования опубликованы в техническом отчете (ТО) 3GPP 36.912. Кроме того, было установлено, что спецификация LTE 3GPP, версия 8, может соответствовать большинству требований 4G за исключением спектральной эффективности восходящего канала и пиковой скорости передачи данных. Такие повышенные требования связаны со следующими особенностями LTE-Advanced:

- расширенные полосы пропускания, полученные за счет объединения нескольких несущих;
- более высокая эффективность, полученная за счет расширенного множественного доступа к восходящему каналу и использования нескольких антенн (передовые технологии MIMO).

В настоящее время рассматриваются другие расширения для версии 10 и последующих релизов, хотя они не являются критическими для соответствия требованиям 4G:

- координация многоточечных передачи и приема (CoMP);
- ретрансляция;
- поддержка гетерогенных сетей;
- усовершенствование самооптимизирующейся сети (SON);
- усовершенствование мобильности базовых станций HeNB (Home enhanced-node-B);
- ВЧ-требования к абонентскому базовому оборудованию (CPE) фиксированной беспроводной связи.

Требования к характеристикам системы

Требования к характеристикам системы LTE-Advanced в большинстве случаев будут превышать требования к системам IMT-Advanced. Выполнение требования МСЭ к пиковой скорости передачи данных 1 Гбит/с будет реализовано в LTE-Advanced за счет устройств 4×4 MIMO в полосе частот передачи шире 70 МГц [8]. Относительно спектральной эффективности сегодняшний стандарт LTE (выпуск 8) удовлетворяет требованиям 4G к нисходящему, но не к восходящему каналу.

В таблице 1 приведены данные сравнения ожидаемых характеристик спектральной эффективности для стандартов LTE, LTE-Advanced и IMT-Advanced. Отметим, что пиковая скорость в LTE-Advanced существенно выше, чем требуется для 4G, что подчеркивает желание реализовать пиковые характеристики в 4G LTE, хотя ожидаемые усредненные характеристики ближе к требованиям МСЭ. Стоит отметить, что пиковые ожидаемые характеристики за счет их выполнения в идеальных условиях часто легче продемонстрировать, чем усредненные. Однако в TR 36.913 заявлено, что целевые показатели для средней спектральной эффективности и для пропускной способности на границе соты должны иметь больший приоритет, чем целевые показатели пиковой спектральной эффективности и других функций, таких как VoIP capacity. Таким образом, при разработке LTE-Advanced необходимо сосредоточиться на решении реальных проблем повышения характеристик связи в середине и на границе соты.

Спектральная гибкость

В дополнение к диапазонам, определенным в настоящее время для LTE версии 8, в TR 36.913 приведены следующие новые диапазоны:

- 450—470 МГц;
- 698—862 МГц;
- 790—862 МГц;
- 2,3—2,4 ГГц;
- 3,4—4,2 ГГц;
- 4,4—4,99 ГГц;

Некоторые из этих диапазонов в настоящее время формально включены в спецификации 3GPP версий 9 и 10. Заметим, что полосы частот рассматриваются независимо от версии спецификации. Это означает, что можно выпускать изделия, соответствующие более ранней версии, с диапазоном, не определенном для более поздней версии.

LTE-Advanced может работать с различной шириной спектра, в т.ч. с полосой частот более 20 МГц в версии 8, за счет чего достигается более высокая производительность и целевая скорость передачи данных. Хотя желательно иметь каналы шириной более 20 МГц, расположенные на смежных частотах, ограниченная доступность частотного ресурса означает, что необходимо объединение каналов из разных диапазонов для удовлетворения повышенных требований к пропускной способности. Этот вариант был разрешен в спецификации IMT-Advanced.

Ключевые технологии LTE-Advanced. Объединение несущих

Для достижения целевой пиковой скорости передачи данных 1 Гбит/с в нисходящем канале системы 4G потребуется более широкая полоса пропускания, чем в настоящее время указана в версии 8 LTE. На данный момент LTE поддерживает ширину полосы канала 20 МГц и маловероятно, что спектральную эффективность можно значительно улучшить относительно текущих целевых показателей LTE. Следовательно, имеется только один путь существенно повысить скорость передачи данных — расширить полосу пропускания канала. В IMT-Advanced установлен верхний предел 100 МГц относительно предполагаемого значения 40 МГц для получения минимальных показателей.

Поскольку большинство диапазонов занято и смежные каналы с полосой 100 МГц недоступны для большинства операторов, МСЭ позволил создать более широкополосные каналы через объединение смежных и несмежных компонентных несущих. Таким образом, спектр одного диапазона может быть добавлен к спектру другого диапазона в абонентском оборудовании, которое поддерживает несколько трансиверов. На рисунке 1 приведен пример объединения соседних каналов, в котором два канала с полосой 20 МГц расположены на смежных частотах. В этом случае объединенная полоса пропускания перекрывает минимально требуемые 40 МГц и может поддерживаться одним трансивером. Однако если бы в этом примере были использованы не смежные каналы или они располагались бы в соседних частотных диапазонах, то потребовалось бы несколько трансиверов.



Рис. 1. Смежная агрегация двух компонентных несущих восходящего канала

Термин «компонентная несущая», используемый в данном контексте, относится к любой из полос, определенной в версиях 8/9 LTE. Для удовлетворения требований МСЭ 4G в технологии LTE-Advanced будут поддерживаться три сценария агрегации компонентных несущих: агрегация смежных несущих внутри диапазона, несмежных несущих внутри диапазона и несмежных несущих в разных диапазонах. Разнос между центральными частотами смежно-агрегированных компонентных несущих будет кратен 300 кГц для совместимости с частотой раstra 100 кГц в версиях 8/9 и в то же время для того, чтобы сохранить ортогональность поднесущих, разнос между которыми составляет 15 кГц. В зависимости от сценария агрегации разнос $n \times 300$ кГц можно уменьшить путем вставки небольшого количества

неиспользованных поднесущих между смежными компонентными несущими. В случае смежной агрегации можно задать более широкий промежуток между компонентными несущими, но это потребует определения новых, немного более широких компонентных несущих.

Абонентское оборудование (АО) LTE-Advanced, обладающее возможностями приема или передачи с агрегацией несущих, будет способно одновременно принимать или передавать несколько компонентных несущих. Тем не менее абонентское оборудование в соответствии с версиями 8 или 9 сможет одновременно принимать и/или передавать только одну компонентную несущую. Компонентные несущие должны соответствовать версиям 8 и 9 LTE.

В версии 10 максимальный размер одной компонентной несущей ограничен 110 ресурсными блоками (РБ), хотя по соображениям простоты и обратной совместимости маловероятно, что будет указано что-то другое, кроме предложенного значения 100 РБ. Возможна агрегация до пяти компонентных несущих. В абонентском оборудовании LTE-Advanced не может быть использовано больше компонентных несущих для восходящего канала, чем для нисходящего. В стандартной реализации TDD (временной метод дуплексного разделения каналов) количество компонентных несущих для восходящего и нисходящего канала, как и полоса пропускания каждого из них, должны быть одинаковыми.

Чтобы установить соответствие между физическим уровнем (PHY) и интерфейсом уровня управления доступом к среде (MAC), потребуется один транспортный блок (в отсутствие пространственного мультиплексирования) и один объект HARQ для каждой запланированной компонентной несущей. (HARQ представляет собой протокол управления повторной передачей). Каждый транспортный блок будет соответствовать только одной компонентной несущей. В абонентском оборудовании может быть предусмотрена одновременная работа на нескольких компонентных несущих. Подробная информация о том, как будет осуществляться передача сигналов управления при нескольких несущих, находится в стадии разработки.

Методы агрегации не являются новыми для 4G — агрегация уже использовалась в технологиях HSPA и 1xEV-DO, версия В. Однако предложенное в 4G расширение агрегации до 100 МГц в нескольких диапазонах является технически проблематичным из-за высокой стоимости и сложности абонентского оборудования, поддерживающего данную технологию. Кроме того, операторы должны будут решить, какие диапазоны выбрать для агрегации, и пройдет некоторое время, прежде чем различные производители оборудования достигнут взаимопонимания по этому вопросу. Организация 3GPP первоначально определила 12 вероятных сценариев реализации для определения требований к побочным излучениям, максимальной мощности и другим факторам, связанным с совмещением различных радиочастот в одном устройстве. Однако из-за большого количества сценариев и ограниченного времени исследования для выпуска 10

LTE-Advanced изначально ограничено двумя сценариями — одним примером для режима TDD внутри диапазона и одним примером для режима FDD в разных диапазонах. В июне 2010 г. для групп 3 и 7 был добавлен третий сценарий, как показано в таблице 2. Этот сценарий важен для европейских компаний, где использование недогруженного диапазона 1800 МГц, в настоящее время выделенного для GSM, является существенным

2 Экспериментальная часть

В данной работе была исследована сеть четвертого поколения на базе технологий LTE. Также по экспериментальным данным определена зависимость скорости приема и передачи трафика от степени дальности базовой станций. Также рассмотреть метод моделирования дальности действия в мобильной сети Long-term Evolution (LTE).

LTE является торговой маркой для новых и быстро развивающихся технологий, которые считаются технологией 4G. Это одна из самых высокоскоростных технологий мобильного доступа. Её скорости позволяют предоставлять современные услуги связи в высоком цифровом качестве[1]. В Казахстане впервые возможности сети LTE были протестированы в 2010 году. Первым в апреле 2010 года сеть LTE протестировал Beeline (входит в группу компаний «ВымпелКом»). По результатам тестирования сети в центральной части города Алматы сеть позволила организовать передачу данных на скорости до 60Мб/сек в направлении к абоненту и до 15Мб/сек — от абонента. В след за ним в июле 2010 года в городе Астана тестирование провёл Kcell (входит в состав холдинга TeliaSonera).

Целью исследования является выявление реальной скорости передачи и приема мобильного доступа в интернет. Также зависимость скорости от расстояния беспроводных 4G модемов от базовой станций LTE в городе Алматы. Эксперимент может определить, какую скорость в интернете могут дать сети LTE и на каком расстоянии. Теоретическая максимальная скорость сети LTE может достигать 100 Мбит/с - downlink и 50 Мб/с - uplink.

Радиус действия установленной базовой станции LTE может различаться в зависимости от используемых частот, мощности сигнала и радиоусловий в каждом отдельном случае. Как правило, этот показатель составляет около 5 километров, однако при достаточном поднятии антенны и мощности сигнала может достигать 30 и даже 100 километров

Фактическая скорость для абонентов «ALTEL 4G» будет зависеть от таких факторов, как близость к базовой станции, загрузка канала [2]. Для проведения эксперимента необходим модем и определение расположения одной базовой станций.

Об устройстве

Номер USIM-карты	
IMEI-код	866948010025131
Домен сети LAN	m.home
IP-адрес	192.168.0.1
IP-адрес беспроводной сети	10.66.197.67
WAN	
Версия программного обеспечения	WEB_ALTELKAZMF823V1.0.0B04
Версия прошивки	BD_ALTELKAZMF823HDV1.0.0B02
Версия аппаратного обеспечения	MF823-1.0.0

Рисунок 1 – характеристика модема 4G



Рисунок 2 – Двухсекторная базовая станция LTE

Базовая станция расположена в г. Алматы. Высота подвеса - 17 м.
ID объекта: AL053. Координаты: N 43,223922; E 76,931955

Т а б л и ц а 1 – Значения скорости приема и передачи в зависимости от дальности БС

	Расстояние от БС (м)	Пинг (мс)	Скорость получения (Мбит/с)	Скорость передачи (Мбит/с)
1	100	30	50.23	14.00
		33	53.05	15.02
		28	52.23	14.13
		29	52.42	14.01
		28	53.01	14.63
2	300	32	31.53	11.81
		34	33.60	12.43
		31	34.90	12.50
		30	33.00	12.15
		30	35.08	12.70
3	500	30	24.73	11.13
		31	27.52	10.60
		30	25.02	9.63
		31	27.02	10.07
		30	25.78	10.08
4	700	29	29.05	10.27
		30	24.07	9.23
		34	22.42	9.15
		30	22.23	9.37
		30	24.27	9.45

Математическое ожидание и дисперсия для скорости получения

$$M[X] = \sum_{i=1}^{\infty} x_i p_i \quad D[X] = M[|X - M[X]|^2] \quad (1.1)$$

- 1) $M(100) = 52,188$ (Мбит/с) $D(100) = 2724,649 - (52.188)^2 = 1.06$
2) $M(300) = 33,622$ (Мбит/с) $D(300) = 1.705$
3) $M(500) = 26,014$ (Мбит/с) $D(500) = 1.194$
4) $M(700) = 24,408$ (Мбит/с) $D(700) = 6.075$

Математическое ожидание и дисперсия для скорости передачи

- 5) $M(100) = 14,358$ (Мбит/с) $D(100)=0.163$
- 6) $M(300)=12,318$ (Мбит/с) $D(300)= 0.955$
- 7) $M(500)=10,302$ (Мбит/с) $D(500)=0.265$
- 8) $M(700)=9,494$ (Мбит/с) $D(700)=0.161$

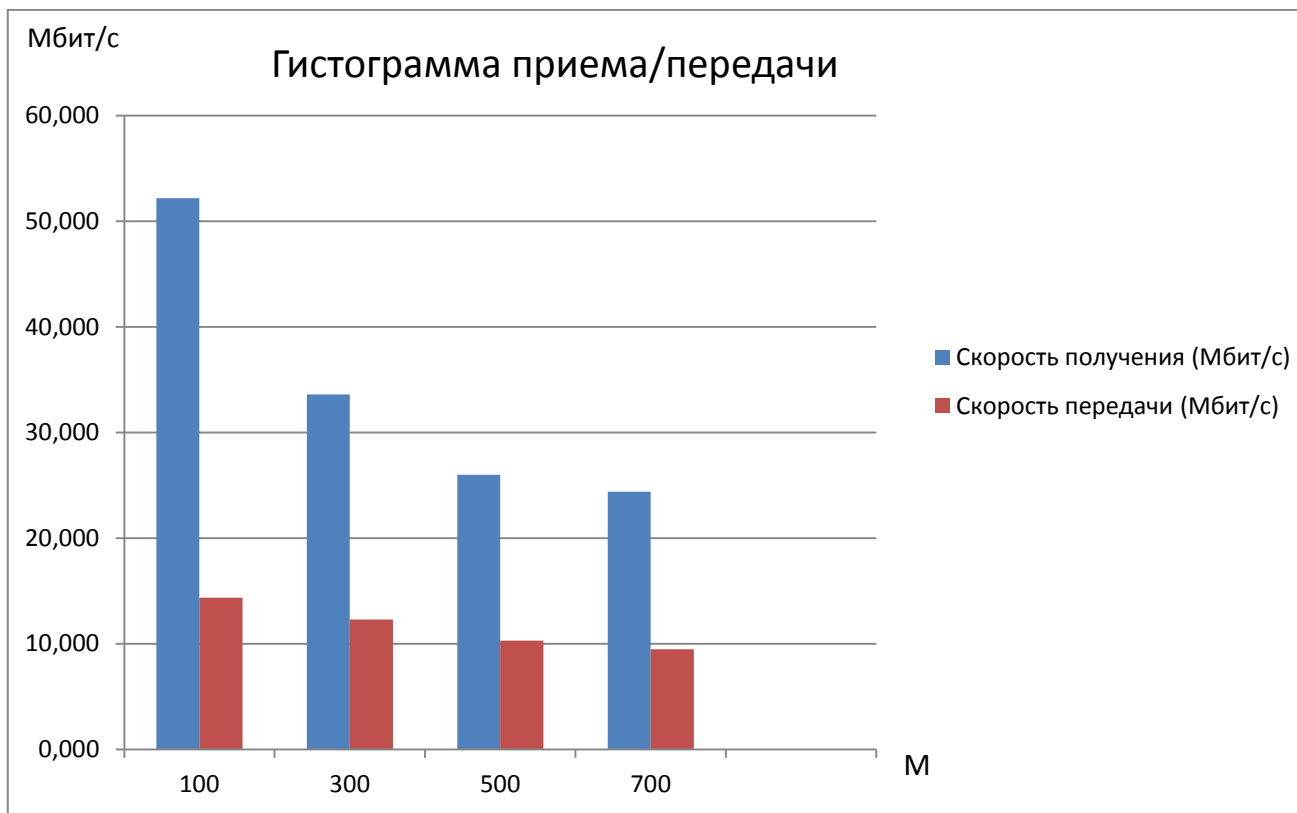


Рисунок 3 Гистограмма скорости приема передачи трафика

На основании полученных данных в таблице 1 можно сказать что загрузка канала не превышает 34 мс, что является хорошим показателем. Скорость получения не превышает 53 Мбит/с, что в два раза меньше теоритической скорости. А скорость передачи не превышает 15 Мбит/с, в три раза меньше обещенных 50 Мбит/с. Отмечу что наблюдается колебание скорости приема от 53 Мбит/с до 22Мбит/с, зависимость скорости от расстояния до одного километра в разы убавляется. Данные выводы говорят

об относительно хорошем качестве сети, и о возможности массового спроса на рынке телекоммуникаций.

3 Расчетная часть

3.1 Расчет зоны покрытия сети LTE в городе

Для сети LTE 1800 определим радиус зоны покрытия, если известны значения потерь L , дБ, высоты базовой станции H_{BC} и абонетской станции H_{MC} , м. Будем рассчитывать по формуле:

$$R = 10^{\frac{L-45,5+13,82\lg H_{BC}-35,4\lg F+(1,1\lg F-0,7)H_{MC}}{(44,9-6,55\lg H_{BC})}} \quad (3.1)$$

Допустимые потери составляют 149,2 дБ (GSM) и 155,1 (LTE).
 $L = 155,1$ дБ; $H_{BC} = 17$ м; $H_{MC} = 1,5$ м; тип зоны покрытия – город

$$R = 10^{\frac{155,1-45,5+13,82\lg 17-35,4\lg 1800+(1,1\lg 1800-0,7)\cdot 1,5}{44,9-6,55\lg 17}} = 2,666 \text{ км}$$

3.1.1 Оценка допустимой скорости передачи в канале сети LTE для «близких» и «далеких» пользователей в области u

Скорость передачи в канале LTE для «близких» (в центре соты) пользователей (Мбит/с)

$$R1(u) = \frac{4}{7} W \log_2(1 + \eta 1(u)) \quad (3.2)$$

для «далеких» (на границе соты) пользователей

$$R2(u) = \frac{3}{7} W \log_2(1 + \eta 2(u)), \quad (3.3)$$

где W – полоса

для пользователей, расположенных в центре и на границе соты для DL, если известны полоса системы W , МГц, $\eta 1(u)$ – SINR для центра соты, $\eta 2(u)$ – SINR для границы соты.

системы, МГц, η – SINR.

Рассчитать скорость передачи в канале

$W=10$ МГц,

$\eta 1(u)=5$ $\eta 2(u)=0.45$

Скорость передачи для пользователей в центре соты

$$R1(u) = \frac{4}{7} 10 \log_2(1+5) = \frac{4}{7} \cdot 10 \cdot 2,59 = 14,8 \text{ Мбит/с},$$

а скорость передачи для пользователей на границе соты

$$R2(u) = \frac{3}{7} 10 \log_2(1+0,34) = 2,5 \text{ Мбит/с}.$$

3.2 Расчет энергетического бюджета для сети LTE



Рисунок 3.1 – Принцип расчета энергетического бюджета

Приведем расчет энергетического бюджета систем LTE с временным и частотным разделением каналов дуплексной передачи с рабочей частотой 2600 МГц. Система с временным дуплексом имеют конфигураций кадра 1 и 2 и формат специального субкадра – 7. Эффективная полоса частот для обеих систем равна 20 МГц. В системе с FDD полоса делится на два канала по 10 МГц для линии вверх (UL) и линии вниз (DL), а при TDD полоса 20 МГц будет использоваться одинаково на UL и на DL.

Рассмотрим БС, у которой РЧ-блок каждого сектора имеет два приемопередатчика. Выходная мощность каждого передатчика 20 Вт (43 дБм). Для устранения больших потерь в фидерном тракте приемопередатчик устанавливается непосредственно на антенне. Режим работы базовой станций

на линии вниз - MIMO 2x2 при использовании кросс-поляризованной антенны. Расчет энергетического бюджета производится для абонентской станции (АС), расположенной на краю соты. Она принимает сигналы от БС с низким значением мощности полезного сигнала, а, следовательно, с низким отношением сигнал/шум (ОСШ). Режим передачи данной БС на АС является режимом разнесенной передачи. Так как в пространстве происходит сложение мощностей сигналов двух передатчиков, можно получить энергетический выигрыш (3 дБ). В качестве АС применяем USB-модем, класс 3 – ЭИИМ 23 дБм.

Эквивалентная изотропно излучаемая мощность

$$ЭИИМ = P_{TX} + G_{TxDiv} + G_{TxA} - L_{TxF} \dots\dots\dots (3.4)$$

где P_{TX} – выходная мощность передатчика, дБм ;

G_{TxDiv} – выигрыш от сложения мощности передатчиков, дБ ;

G_{TxA} – коэффициент усиления антенны, дБ;

L_{TxF} - потери в фидерном тракте, дБ.

Рассчитаем ЭИИМ передатчика базовой станции, в зависимости от параметров оборудования LTE и восходящей или нисходящей линии сотовой связи

Т а б л и ц а 3.1 – Исходные данные для расчета ЭИИМ

Конфигурация системы	FDD 10 + 10 МГц	
	DL	UL
P_{TX} , дБм	40	20
G_{TxDiv} дБ;	2,9	0
G_{TxA} , дБ;	19	0
L_{TxF} , дБ.	0,38	0

$$ЭИИМ(DL) = 40+2,9+19-0,38=61.52$$

$$ЭИИМ(UL) = 20$$

3.2.1 Расчет чувствительности приемника LTE

Минимально допустимый уровень сигнала на входе приемника определяется по формуле:

$$P_{np}(\text{дБмВт}) = P_{ш}(\text{дБмВт}) + (E_b/N_0)_{\text{треб}}(\text{дБ}) - G_{обр}(\text{дБ}), \dots \quad (3.5)$$

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

$G_{обр}$ – выигрыш от обработки.

$P_{ш}$ – мощность собственных шумов приемника.

Основные параметры использующиеся в расчете:

E_b/N_0 – отношение средней энергии бита к спектральной плотности шума. Зависимость отношения E_b/N_0 зависит от таких показателей как скорости передвижения абонента и радиоканала, тип сервиса.

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

Мощность собственных шумов приемника

$$P_{ш} = N + K_{ш} \quad (\text{дБмВт}), \dots \quad (3.6)$$

□

где N - мощность теплового шума в приемнике, дБмВт

$$N = k \cdot T \cdot B, \dots \quad (3.6)$$

где k - постоянная Больцмана ($1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К),

T – температура проводника.

Мощность теплового шума в приемнике зависит от полосы пропускания фильтра. Для стандарта LTE полосу согласованного фильтра можно принять равной 3.9 МГц.

Коэффициент шума приемника для линии DL $K_{ш} = 8$ дБ, а для линии UL $K_{ш} = 2$ дБ

Определить чувствительность приемника P_{np} (дБмВт), если известны температура проводника, T° , тип линии (DL, UL), коэффициент шума приемника $K_{ш}$ (дБ), полоса согласованного фильтра приемника B (МГц), отношение средней энергии бита к спектральной плотности шума E_b/N_0 (дБ), выигрыш от обработки $G_{обр}$ (дБ).

Тип линии - UL, $T = 20^\circ$, $B = 3,84$ МГц, $K_{ш} = 2$ дБ, $G_{обр} = 4$ дБ.

Услуга – телефония, скорость абонента – 3 км/час.

Определяем из таблицы значение $E_b/N_0 = 7,9$ дБ.

$$N = k \cdot T \cdot B = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 3.84 \cdot 10^6 = 1.55 \cdot 10^{-14} \text{ Вт},$$

$$N = 10 \cdot \log(1.55 \cdot 10^{-14} / 0.001) = -108,2 \text{ дБмВт}.$$

Мощность собственных шумов приемника

$$P_{ш} = N + K_{ш} = -108,2 + 2 = -106,2 \text{ дБ.}$$

Чувствительность приемника

$$P_{пр} = -106,2 + 7,9 - 4 = -102,3 \text{ дБ.}$$

Тип линии - DL, $T = 25^\circ$, $B = 4,2$ МГц, $K_{ш} = 8$ дБ, $G_{обр} = 5$ дБ.

Услуга – телефония, скорость абонента – 3 км/час.

Определяем из таблицы значение $E_b/N_0 = 4,4$ дБ.

$$N = k \cdot T \cdot B = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 298 \cdot 4.2 \cdot 10^6 = 1.72 \cdot 10^{-14} \text{ Вт,}$$

$$N = 10 \cdot \log(1.72 \cdot 10^{-14} / 0.001) = -107,7 \text{ дБмВт.}$$

Мощность собственных шумов приемника

$$P_{ш} = N + K_{ш} = -107,7 + 8 = -99,7 \text{ дБ.}$$

Чувствительность приемника

$$P_{пр} = -99,7 + 4,4 - 4 = -99,3 \text{ дБ.}$$

3.2.2 Расчет максимально допустимых потерь сети LTE

Максимально допустимые потери

$$L_{MARL} = P_{EIRP} - S_{Rx} + G_{RxA} - L_{RxF} - M_{Build} - M_{Int} - M_{Shade} + G_{HO}, \dots (3.7)$$

где P_{EIRP} – ЭИИМ передатчика, дБ;

S_{Rx} – чувствительность приемника, дБ;

G_{RxA} – коэффициент усиления антенны, дБи;

L_{RxF} – потери в фидерном тракте, дБ;

M_{Build} – запас на проникновение в помещение, дБ;

M_{Int} – запас на внутрисистемные помехи, дБ;

M_{Shade} – запас на затенение, дБ;

G_{HO} – выигрыш от хендовера, дБ.

Запас на допустимые внутрисистемные помехи.

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

$$M_{Int} = -10 \cdot \log_{10}(1 - \eta), \dots (3.8)$$

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

Как видно, запас на внутрисистемные помехи это функция от загрузки соты, чем больше разрешенная нагрузка в соте, тем большую величину запаса необходимо учесть в расчете. При росте нагрузки до 100% запас на помехи стремится к бесконечности и зона обслуживания соты уменьшается до нуля. Зависимость значения данной величины от загрузки соты представлена на рисунке 3.1.

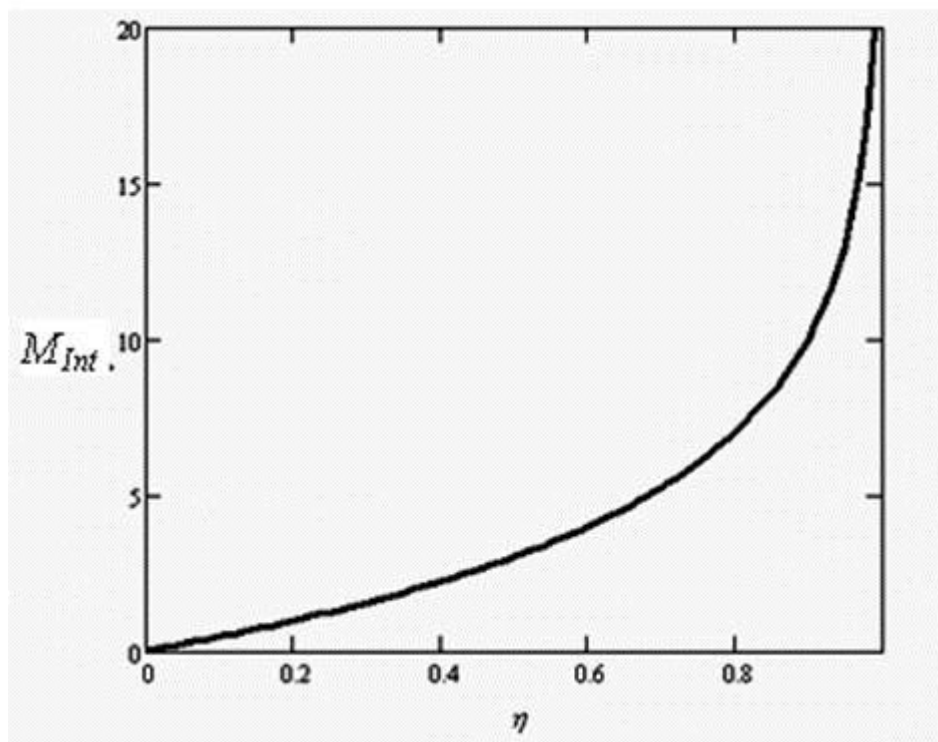


Рисунок 3.2 - Зависимость значения запаса на внутрисистемные помехи от значения относительной загрузки соты

Выигрыш за счет мягкого хэндовера.

Мягкий хэндовер имеет место в том случае, когда мобильная станция соединена как минимум с двумя сотами одновременно. В случае, если эти соты принадлежат двум разным базовым станциям(Node B), то объединение двух восходящих каналов осуществляется контроллером радиосети (RNC). В случае, если соты принадлежат одной базовой станции объединение сигналов осуществляется базовой станцией. В нисходящей линии объединение двух каналов осуществляется РАКЕ-приемником мобильной станции методом оптимального сложения. Можно рассматривать, как метод разнесенного приема, при использовании которого сигналы разных каналов складываются с учетом их весовых коэффициентов, а коэффициенты усиления в каждом канале прямо пропорциональны среднеквадратичному значению мощности сигнала и обратно пропорциональны среднеквадратичному значению мощности шума в этих каналах. При оптимальном сложении отношение

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

Ограничение управления мощностью или запас на быстрые замирания.

Алгоритм быстрого управления мощностью введен в UMTS для того, чтобы поддерживать требуемое значение E_b/N_0 на входе приемника постоянным во время быстрых замираний, обусловленных многолучевостью. глубина замираний может достигать до 30 дБ. Быстрое управление мощностью особенно важно для абонентов имеющих малую скорость передвижения, так как они не могут быстро изменить свое положение для компенсации глубоких замираний. На границе соты, мощность передатчика мобильной станции максимальная, таким образом, не остается запаса на управление мощностью для компенсации быстрых замираний.

Для того, чтобы учесть этот процесс в расчете зададимся величиной запаса на быстрые замирания. Величина запаса на быстрые замирания зависит от скорости абонента. Типичные значения величины запаса в зависимости от скорости абонента представлены в таблице 2.3

Таблица 2.3 - Типичные значения величины запаса на быстрые замирания

Тип абонента, скорость перемещения	Типичная величина запаса на быстрые замирания
Небольшая скорость (3 км/ч)	3-5 дБ
Средняя скорость (50 км/ч)	1-2 дБ
Высокая скорость (120 км/ч)	0.1 дБ

Рассчитать максимально допустимые потери L_{MARL} в сети LTE, если известны ЭИИМ передатчика - P_{EIRP} (дБ), чувствительность приемника - S_{Rx} ,

(дБ), коэффициент усиления антенны - G_{RxA} (дБи), потери в фидерном тракте - L_{RxF} , (дБ), запас на проникновение в помещение - M_{Build} , (дБ), запас на затенение - M_{Shade} , (дБ), выигрыш от хэндовера - G_{HO} (дБ), загрузка соты - η .

Таблица 2.4 – Исходные данные

Примечание: типовые значения запаса на проникновение:

- 22 дБ в условиях плотной городской застройки;
- 17 дБ в условиях средней городской застройки;
- 12 дБ в условиях редкой застройки (в пригороде);
- 8 дБ в сельской местности (на открытой местности в автомобиле).

$P_{EIRP} = 61,52$ дБ, $S_{Rx} = -99,3$ дБ, $G_{RxA} = 19$ дБ, $L_{RxF} = 0,38$ дБ, $\eta = 0,8$,
 $M_{Build} = 17$ дБ, $M_{Shade} = 9$ дБ, $G_{HO} = 3$ дБ.

Определим запас на помехи M_{Int} , дБ

$$M_{Int} = -10 \cdot \log_{10}(1-\eta) = -10 \lg(1 - \eta) = -10 \lg 0,2 = 6,9 \text{ дБ.}$$

Максимально допустимые потери

$$L_{MARL} = 61,52 + 99,3 + 19 - 0,38 - 6,9 - 17 - 9 + 3 = 149,5 \text{ дБ.}$$

3.2.3 Расчет восходящей линии (UL) LTE

Расчет восходящей линии (UL) состоит из нескольких этапов:

- расчет минимально допустимой мощности сигнала на входе приемника базовой станции;
- определение требуемой мощности принимаемого сигнала;
- расчет эффективно излучаемой мощности мобильной станции;
- определение максимально допустимых потерь.

2.3.1 Расчет минимально допустимой мощности сигнала на входе приемника базовой станции

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника БС определяется из формулы (3.9) :

$$P_{прбс}(\text{дБмВт}) = P_{ш}(\text{дБмВт}) + (E_b/N_0)_{\text{треб}}(\text{дБ}) - G_{обр}(\text{дБ}), \quad (3.9)$$

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

$G_{обр}$ – выигрыш от обработки,

$P_{ш}$ – мощность собственных шумов приемника.

Для анализа выбран тип оборудования **БС Nokia Flexi WCDMA BTS**. Коэффициент шума приемника данной базовой станции менее 2 дБ. Для расчета примем $K_{ш} = 2$ дБ.

Мощность шумов приемника БС:

$$P_{ш} = N + K_{ш} \text{ (дБмВт)}, \dots \dots \dots (3.10)$$

Минимально допустимое значение E_b/N_0 на входе приемника для данного типа сервиса составляет 4.4 дБ при скорости абонента 3 км/ч.

Выигрыш от обработки составляет:

$$G_{обр} = 10 \log(R_{чип}/R_{польз}), \dots \dots \dots (3.11)$$

где $R_{чип}$ - чиповая скорость стандарта LTE, чип/с,

$R_{польз}$ - скорость передачи данных пользователя, кбит/с.

Также необходимо учесть выигрыш за счет мягкого хендовера и запас на внутрисистемные помехи. Величину выигрыша примем равной $G_{хо} = 3$ дБ. Величину запаса на внутрисистемные помехи определим из выражения (3.9). Величину относительной загрузки соты для начального расчета примем равной 50%. Допустимым значением величины относительной загрузки соты считается 50%.

Запас на внутрисистемные помехи равен:

$$M_{int} = -10 \cdot \log_{10}(1 - \eta), \dots \dots \dots (3.12)$$

С учетом вышеуказанных факторов, минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника БС равна:

$$P_{прбс} = P_{ш} + (E_b/N_0)_{проб} - G_{обр} + L_n - G_{хо} \text{ (дБмВт)}. \dots \dots \dots (3.13)$$

Рассчитать минимально допустимую мощность сигнала на входе приемника базовой станции UMTS, если известны температура проводника, T° , тип линии (DL, UL), коэффициент шума приемника $K_{ш}$ (дБ), полоса согласованного фильтра приемника B (МГц), отношение средней энергии бита к спектральной плотности шума E_b/N_0 (дБ), чиповая скорость $R_{чип}$ (чип/с), скорость передачи данных пользователя $R_{польз}$ (кбит/с), загрузка соты - η . Мощность собственных шумов приемника взять из расчета задачи 2.1.

Исходные данные

$K_{ш} = 2$ дБ, $E_b/N_0 = 4.4$ дБ, $R_{чип} = 3,84 \cdot 10^6$ чип/с, $R_{польз} = 384$ кбит/с,

$\eta = 0,5$.

Мощность теплового шума в приемнике:

$$N = k \cdot T \cdot B = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 298 \cdot 4.2 \cdot 10^6 = 1.72 \cdot 10^{-14} \text{ Вт},$$

$$N = 10 \cdot \lg(1.72 \cdot 10^{-14} / 0.001) = -117,7 \text{ дБмВт}.$$

Мощность шумов приемника БС :

$$P_{ш} = N + K_{ш} = -117,7 + 2 = -119,7 \text{ дБмВт}.$$

Выигрыш от обработки составляет:

$$G_{обр} = 10 \log(R_{чит}/R_{польз}) = 10 \log(3,84 \cdot 10^6 / 384 \cdot 10^3) = 10 \text{ дБ.}$$

Запас на внутрисистемные помехи равен:

$$M_{Int} = -10 \cdot \log_{10}(1-0.5) = 3 \text{ дБ.}$$

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника БС равна:

$$P_{прбс} = P_{ш} + (E_b/N_0)_{треб} - G_{обр} + L_n - G_{хо} = -105,7 + 4,4 - 10 + 3 - 3 = -111,3 \text{ дБм.}$$

2.3.2 Определение мощности принимаемого сигнала

Требуемая мощность принимаемого сигнала определяется выражением:

$$P_{пр} = P_{прбс} + L_{фидер} - G_{бс} + L_{ff} \text{ (дБм)}, \dots \dots \dots (3.14)$$

где $L_{фидер}$ - потери в фидере, дБ. Как правило, длина и тип фидера выбирается таким образом, чтобы значение затухания в нем составляла не более 3 дБ;

$G_{бс}$ - коэффициент усиления антенны базовой станции, дБ.;

L_{ff} - запас на быстрые замирания, дБ.

$L_{фидер} = 0,38$ дБ, $G_{бс} = 19$ дБ, $L_{ff} = 3$ дБ.

Тогда

$$P_{пр} = P_{прбс} + L_{фидер} + G_{бс} + L_{ff} = -111,3 + 0,38 + 19 + 3 = -107 \text{ дБм.}$$

2.3.3 Расчет эффективно излучаемой мощности мобильной станции

Эффективно излучаемая мощность мобильной станции определяется выражением:

$$P_{изМС} = P_{МС} + G_{БС} - L_{тело} \text{ (дБмВт)}, \dots \dots \dots (3.15)$$

где $P_{МС}$ - мощность передатчика мобильной станции. Для расчета взята минимальная мощность мобильной станции определенная стандартом (класс 4 - 21 дБмВт);

$G_{БС}$ - коэффициент усиления антенны базовой станции, принята равной 0 дБ;

$L_{тело}$ - потери на затухание в теле абонента. Для расчета $L_{тело}$ принимают равным 3 дБ. Необходимо заметить, что потери на затухание в теле

учитываются для голосовых типов услуг, и могут не учитываться для услуг по передаче данных.

Рассчитать эффективно излучаемую мощность мобильной станции UMTS, если известны мощность передатчика мобильной станции $P_{мс}$ (дБмВт), коэффициент усиления антенны базовой станции $G_{мс}$ (дБ), потери на затухание в теле абонента $L_{тело}$ (дБ).

$$P_{МС} (\text{дБмВт}) = 12$$

$$L_{тело} (\text{дБ}) = 1$$

$$P_{изМС} = 12 - 1 = 11 \text{ дБм (12,5 мВт)}$$

2.3.4 Определение максимально допустимых потерь

Максимально допустимые потери на трассе равны:

$$L = P_{изМС} - P_{пр}. \quad (3.16)$$

$$L = 11 - (-107) = 118 \text{ дБ}$$

3.2.4 Расчет нисходящей радиолинии (DL) LTE

Данный расчет также осуществляется в несколько этапов:

- расчет минимально допустимой мощности сигнала на входе приемника МС;
- определение требуемой мощности принимаемого сигнала;
- расчет эффективно излучаемой мощности базовой станции;
- определение допустимых потерь на трассе.

2.4.1 Определение минимально допустимой мощности сигнала на входе приемника МС

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

$$P_{прмс}(\text{дБмВт}) = P_{ш}(\text{дБмВт}) + (E_b/N_0)_{треб}(\text{дБ}) - G_{обр}(\text{дБ}).$$

Приемник мобильной станции более простой, чем приемник БС, в нем используются более простые компоненты, следовательно, его коэффициент шума выше. Стандартом коэффициент шума приемника МС должен иметь значение < 9 дБ. Для расчета примем $Kш = 8$ дБ.

Мощность собственных шумов приемника МС:

$$P_{ш} = N + Kш (\text{дБмВт}).$$

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

$$P_{прМС} = P_{ш} + (E_b/N_0)_{преб} - G_{обр} - L_n - G_{хо} \text{ (дБмВт)},$$

где $(E_b/N_0)_{преб}$ - минимально допустимое значение E_b/N_0 на входе приемника для данного типа сервиса составляет 4.8 дБ при скорости абонента 3 км/ч;

$$G_{обр} = 10 \log(R_{чип}/R_{польз});$$

$R_{чип}$ - чиповая скорость стандарта UMTS, чип/с;

$R_{польз}$ - скорость передачи данных пользователя. кбит/с;

L_n - запас на внутрисистемные помехи. Примем что сота в нисходящей линии загружена также как и в восходящий. $L_n = 3$ дБ;

$G_{хо}$ - выигрыш за счет мягкого хэндовера, дБ.

Определение минимальной допустимой мощности сигнала на входе приемника МС, если известны температура проводника, T° , коэффициент шума приемника $K_{ш}$ (дБ), полоса согласованного фильтра приемника B (МГц), отношение средней энергии бита к спектральной плотности шума E_b/N_0 (дБ), чиповая скорость $R_{чип}$ (чип/с), скорость передачи данных пользователя $R_{польз}$ (кбит/с), загрузка соты - η .

$K_{ш} = 8$ дБ ; $R_{чип}$ - чиповая скорость стандарта UMTS, $3,84 \cdot 10^6$ чип/с;

$R_{польз}$ - скорость передачи данных пользователя. 384 Кбит/с;

L_n - запас на внутрисистемные помехи. Примем что сота в нисходящей линии загружена также как и в восходящий. $L_n = 3$ дБ;

$G_{хо}$ - выигрыш за счет мягкого хэндовера, примем 3 дБ.

Мощность собственных шумов приемника МС:

$$P_{ш} = N + K_{ш} = -117,7 + 8 = -109,3 \text{ дБмВт.}$$

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

$$P_{прМС} = P_{ш} + (E_b/N_0)_{преб} - G_{обр} - L_n - G_{хо} = -109,3 + 7,9 - 8 + 5 - 3 = -107,4 \text{ дБм},$$

где $(E_b/N_0)_{преб}$ - минимально допустимое значение E_b/N_0 на входе приемника для данного типа сервиса составляет 4.8 дБ при скорости абонента 3 км/ч;

$$G_{обр} = 10 \log(R_{чип}/R_{польз}) = 10 \log(3,84 \cdot 10^6 / 384 \cdot 10^3) = 8 \text{ дБ.}$$

2.4.2 Определение требуемой мощности принимаемого сигнала

Требуемая мощность принимаемого сигнала определяется выражением:8

$$P_{np} = P_{npMC} + L_{\text{тело}} - G_{MC} + L_{ff} \text{ (дБмВт)},$$

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

G_{MC} – коэффициент усиления антенны мобильной станции, дБ. Значение G_{MC} принято равным 0 дБ;

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

$$P_{np} = -107,9 + 1 + 3 = -103,9 \text{ дБм}$$

2.4.3 Расчет эффективно излучаемой мощности базовой станции

Эффективно излучаемая мощность БС:

$$P_{\text{изБС}} = P_{\text{БС}} + G_{\text{БС}} - L_{\text{фидер}}, \text{ дБмВт},$$

где $P_{\text{БС}}$ – мощность передатчика базовой станции на кодировый канал, дБ;

$G_{\text{БС}}$ – коэффициент усиления антенны базовой станции, дБ;

$L_{\text{фидер}}$ – потери обусловленные затуханием в фидере, дБ.

Определить эффективно излучаемую мощность базовой станции $P_{\text{изБС}}$ дБ, если известны мощность передатчика базовой станции на кодировый канал $P_{\text{БС}}$ (дБ), коэффициент усиления антенны базовой станции $G_{\text{БС}}$ (дБ), потери обусловленные затуханием в фидере $L_{\text{фидер}}$ (дБ).

$P_{\text{БС}} = P_{\text{рп}} / 55$, где 55 - число кодовых каналов

$$P_{\text{БС}} = 50 / 55 = 0,9 \text{ Вт} = 900 \text{ мВт} (29 \text{ дБм})$$

$$P_{\text{изБС1}} = 29 + 19 / 55 - 2 = 27 \text{ дБм} = 0,53 \text{ мВт} \text{ (на 1 кодировый канал)}$$

$$P_{\text{изБС}} = 0,53 * 55 = 29,15 \text{ Вт}$$

2.4.4 Расчет допустимых потерь на трассе

Допустимые потери на трассе:

$$L = P_{\text{изБС}} - P_{np} - M_{\text{Build}}, \text{ дБ},$$

где M_{Build} – запас на проникновение в помещение, дБ.

Значения запаса на проникновение:

- 22 дБ в условиях плотной городской застройки;

Определить допустимые потери на трассе нисходящей линии UMTS, если известен M_{Build} – запас на проникновение в помещение, дБ. Эффективно излучаемая мощность базовой станции $P_{\text{изБС}}$ и требуемая мощность принимаемого сигнала P_{np} берутся из задач 2.8, 2.9.

$$L = 15 - (-100,9) - 22 = 107,9 \text{ дБ}$$

3.2.5 Оценка емкости сети LTE

Емкость, или пропускную способность, сети оценивают, базируясь на средних значениях спектральной эффективности соты в определенных условиях. Приведены значения средней спектральной эффективности соты LTE FDD в макросети для сценарий 3 (расстояние между сайтами 1732 м) [1]. Характеристики оценивались для диапазона 2 ГГц, полосы канала 10 МГц (10 + 10 МГц в дуплексе), при потерях на проникновение в здание 20 дБ, в среднем при 10 активных пользователей в соте.

Линия	Схема MIMO	Средняя спектральная эффективность, бит/с/Гц
UL	1 x 4	1,038
DL	4 x 2	1,85

Для системы FDD средняя пропускная способность соты может быть получена путем прямого умножения ширины канала на спектральную эффективность

$$R_{FDD} = S_{FDDaverage} \cdot W \quad (2.2.1)$$

где $S_{FDDaverage}$ - средняя спектральная эффективность,
 W - ширина канала

Рассчитаем среднюю пропускную способность соты на линии вниз

$$R_{FDD} = 1,85 \cdot 20000 = 37 \text{ Мбит/с}$$

Также среднюю пропускную способность соты на линии вверх

$$R_{FDD} = 1,038 \cdot 20000 = 20,8 \text{ Мбит/с}$$

Расчет емкости сети LTE FDD R_{NW} (Мбит/с) в мегаполисе при наличии пары полос 10+10 МГц и при переиспользовании N сотовых площадок. Средняя пропускная способность БС, N , Мбит/с.

Пример расчета

Число сот - 500; Средняя пропускная способность БС – 37 Мбит/с

Емкость сети или суммарная пропускная способность такой сети в направлении к абоненту составит

$$R_{NW} = R_{BC} \cdot N = 37 \cdot 500 = 18500 \text{ Мбит/с.}$$

Расчет усредненного трафика абонента в ЧНН R_{BH} (Мбит/с), если заданы: $T_{аб}$, Гбайт/месяц - трафик абонента, N_{BH} - число ЧНН в день; N_D - число дней в месяце.

$$T_{аб} = 20 \text{ Гбайт/месяц; } N_{BH} = 15; N_D = 30.$$

$$R_{BH} = \frac{T_{аб} \cdot 8}{N_{BH} \cdot N_D} :$$

$$R_{BH} = 20 \cdot 8 / (15 \cdot 30) = 0.36 \text{ Мбит/с}$$

Определяем усредненный трафик абонента на DL (линия вниз) в ЧНН R_{DL} (Мбит/с), если даны усредненный трафик абонента в ЧНН, R_{BH} (Мбит/с) и доля трафика на DL, S_{DL} (%).

$$R_{BH} = 0,36 \text{ Мбит/с; } S_{DL} = 80\%.$$

$$R_{DL} = R_{BH} \cdot S_{DL} = 0,36 \cdot 0,8 = 0,288 \text{ Мбит/с.}$$

Рассчитываем число абонентов N_{AB} , при известных суммарной пропускной способности R_{NW} , Мбит/с и усредненного трафика абонента на DL в ЧНН R_{DL} , Мбит/с.

$$R_{NW} = 18500 \text{ Мбит/с; } R_{DL} = 0,288 \text{ Мбит/с.}$$

$$N_{AB} = \frac{R_{NW}}{R_{DL}}$$

$$N_{AB} = 18500 / 0,288 = 64236 \text{ аб.}$$

Таблица 3.5 – Результаты расчетов емкости сети LTE

Трафик абонента, Гбайт/месяц	T_A	2
	B	0
Число ЧНН в день	N_B	1
	H	5
Число дней в месяце	N_D	3
		0
Усредненный трафик абонента в ЧНН, Мбит/с	R_B	0
	H	,36
Доля трафика на DL, %	S_D	8

	L	0
Усредненный трафик абонента на DL в ЧНН, Мбит/с	R_D L	0,288
Общий трафик в сети, Гбит/с	R_N w	18500
Число абонентов, тыс	N_A B	64

Заключение

Широкополосные беспроводные сети доступа в наше время вызывают растущий интерес у пользователей, в связи с сервисными возможностями и высокоскоростными доступами. С начала 2013 года сеть построенная на базе технологий LTE бурно развивается во всем мире.

В работе представлены возможности, которые может нам предоставить сеть четвертого поколения на базе технологий LTE. Сервисные и скоростные возможности в разы улучшены по сравнению с сетью 3G. Как видно из экспериментальной части загрузка канала не превышает 34 мс, на расстояний до одного километра в городских условиях скорость приема данных меняется от 53 Мбит/с до 22 Мбит/с. Зона покрытия базовой станций равна 2,36 км, в городских плотно заселенных условиях

В расчетной части рассчитаны режимы работ восходящей и нисходящей линий связи.

Данные полученные мной говорят об относительно хорошем качестве сети и оправдывает массовый спрос на данную технологию.

Список литературы

1. <http://www.yazov.com/news/144-tehnologiya-lte-na-gorizonte-kz.html>
2. http://www.json.ru/poleznye_materialy/free_market_watches/analytics/sostoyanie_i_perspektivy_razvitiya_setej_lte_s_vremennym_dupleksom_time_division_lte_dt-lte_v_rossii_i_v_mire/
3. <http://www.tadviser.ru/index.php/%D1%F2%E0%F2%FC%FF:LTE>
4. <http://internet-avenue.kz/organisacii/ao-altel-pervyj-kazakhstanskij-operator-sotovoj>
5. <http://www.altel.kz/index.html?id=14>
6. http://www.mobile-networks.ru/articles/seti_lte_struktura_i_princip_raboty.html
7. Heiskala J., Terry J. OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide. 2002.