

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра «Телекоммуникационные системы»

Специальность 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

к.т.н., Шагиахметов Д.Р.

(ученая степень, звание, ФИО) (подпись)

«_____» _____ 2014 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

пояснительная записка

на тему: Исследование режимов передачи мультисервисной сети
технологии LTE 4G

Магистрант <u>Шамшиденова А.Б.</u>	_____	группа <u>ИТСП-12-1</u>
(Ф.И.О.)	(подпись)	
Руководитель <u>профессор каф.ТКС</u>	_____	<u>Казиева Г.С.</u>
(ученая степень, звание)	(подпись)	(Ф.И.О.)
Технический консультант	_____	<u>Буханова Г.</u>
	(подпись)	(Ф.И.О.)
Рецензент <u>к.т.н., профессор МУИТ</u>	_____	<u>Хасенова Г.И.</u>
(ученая степень, звание)	(подпись)	(Ф.И.О.)
Консультант по ВТ <u>к.х.н., ст..преп.</u>	_____	<u>Данько Е.Т.</u>
(ученая степень, звание)	(подпись)	(Ф.И.О.)
Нормоконтроль <u>ст.преп.</u>	_____	<u>Абрамкина О. А.</u>
(ученая степень, звание)	(подпись)	(Ф.И.О.)

Алматы, 2014

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет «Радиотехники, электроники и связи»

Специальность 6М071900 «Радиотехники, электроники и телекоммуникации»

Кафедра «Телекоммуникационных систем»

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Шамшиденовой Айнур Бекмуратовне

(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации « Исследование режимов передачи мультисервисной сети технологии LTE 4G»

утверждена Ученым советом университета №142 от «31» октября 2013 г.

Срок сдачи законченной диссертации «25» декабря 2013 г.

Цель диссертационной работы состоит в экспериментальном исследовании возможности передачи голосового и видеосигнала в мультисервисных сетях, построенных на основе технологии LTE 4G

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

1. Архитектура, характеристики и методы анализа мультисервисных сетей широкополосного доступа

2. Технология LTE 4G

3. Методология создания мультисервисных сетей класса WiMAX/LTE

4. Исследование режимов передачи мультисервисной сети технологии LTE 4G

5. Расчёт дальности действия сети

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Рисунок 4.1 – Схема подключения радиоканала

Рисунок 4.2 – Зависимость $P_{вх}$ от времени

Рисунок 4.3 – Зависимость $P_{вых}$ от времени t

Рисунок 4.4 – Зависимость количества полученных пакетов на входе от времени t

Рисунок 4.5 - Зависимость количества полученных пакетов на выходе от времени t

Рисунок 4.6 – Сравнение входной и выходной мощности в момент времени t

Рекомендуемая основная литература

1. Соколов Н.А. Сети абонентского доступа. Принципы построения – Научно-техническое издание, 1999.

2. Smith C. 3G Wireless Networks: Учеб. пособие / C. Smith, D. Collins. – Нью Йорк, 2007. – 408 с.

Г Р А Ф И К

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1 Информационный обзор согласно темы диссертации	01.10.2012	
2 Создание модели для проведения эксперимента	14.01.2013	
3 Экспериментальное исследование режимов передачи данных, видео и голосового сигнала в сети, построенной на основании технологии LTE	02.02.2013	
4 Исследование влияния мощности канала на качество предоставляемое услуги	20.02.2013	
5 Расчет дальности действия сети	12.03.2013	
6 Анализ полученных экспериментальных и расчетных данных	02.11.2013	
7 Оформление диссертационной работы	25.12.2013	

Дата выдачи задания _____ 05.09.2012 г.

Заведующий кафедрой _____ (Коньшин С.В.)

(подпись)

(Ф.И.О.)

Руководитель диссертации _____ (Казиева Г.С.)

(подпись)

(Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению

магистрант _____ (Шамшиденова А.Б.)

(подпись)

(Ф.И.О.)

Аңдатпа

Бұл диссертациялық жұмыста LTE 4G технологияның көп сервистік желісі беріліс режим зерттейді.

Бірінші бөлімде, дәл осы кездеге кең жолақты қол жеткізу жолының көп сервистік желілерін жағдайды қаралады.

Екінші бөлімде бүтіндей LTE желі және LTE 4G технологиясы алдыңғы ұрпақтардың желілерімен қатар өмір сүруінің нұсқалары суреттеледі.

Үшінші бөлімде LTE көп сервистік желісін жасаудың әдістемелігін қаралады.

Төртінші бөлімде LTE 4G технологияның көп сервистік желісі беріліс режим тәжірибелік зерттеу жүргізіледі.

Бесінші бөлімде желінің әрекетін қашықтықтың есептеуі жасалған.

Аннотация

В данной диссертационной работе исследуются режимы передачи мультисервисной сети технологии LTE 4G.

В первой главе рассматривается состояние мультисервисных сетей широкополосного доступа на данный момент.

Во второй главе описывается технология LTE 4G в целом, варианты сосуществования сети LTE и сетей предыдущих поколений.

В третьей главе рассматривается методология создания мультисервисной сети класса LTE.

В четвертой главе проводится экспериментальное исследование режимов передачи мультисервисной сети технологии LTE 4G.

В пятой главе произведен расчет дальности действия сети.

Содержание

Введение.....	6
1 Архитектура, характеристики и методы анализа мультисервисных сетей широкополосного доступа.....	7
1.1 Эволюция телекоммуникационных сетей региональных операторов и провайдеров.....	7
1.2 Архитектуры мультисервисной сети широкополосного доступа.....	9
1.2.1 Общие требования к системам телекоммуникаций.....	9
1.2.2 Основные компоненты архитектуры	10
1.2.3 Особенности оказания услуг для квартирного сектора.....	12
1.2.4 Особенности оказания услуг для корпоративных клиентов.....	14
1.3 Подключение конечных к мультисервисной сети	17
2 Технология LTE 4G.....	18
2.1 Основные характеристики LTE.....	19
2.2 Цели разработки LTE	22
2.3 Возможности, обеспечиваемые LTE	23
2.4 Оборудование	26
2.5 Варианты существования сети LTE и сетей предыдущих поколений ...	26
2.6 Архитектура.....	31
2.7 Радиотехнология OFDM.....	32
2.8 FDD и TDD.....	33
3 Методология создания мультисервисных сетей класса wimax/lte.....	35
4 Исследование режимов передачи мультисервисной сети технологии LTE 4G.....	45
5 Расчет дальности действия сети.....	52
Заключение.....	61
Список литературы	62

Введение

Современное информационное общество совершенно немыслимо без постоянного доступа к сети передачи данных. Основной задачей всех операторов связи стало развертывание мощных высокопроизводительных мультисервисных сетей. Одной из технологий, с помощью которой реализация данной задачи стала возможной, является технология LTE 4G. Мировые операторы связи активно развивают сети на базе технологии LTE, появляются первые практические реализации небольших сетей, но пока экспериментальные образцы.

Наш мир становится всё более и более «беспроводным». Многие устройства оснащены беспроводными интерфейсами – телефоны, телевизоры, смартфоны, планшеты. Домашние пользователи предпочитают не портить интерьер множеством проводов. В офисах появились беспроводные мыши и клавиатуры, беспроводные принтеры и гарнитуры. Например, строительство ЛВС (локальной вычислительной сети) невозможно или нежелательно, по экономическим соображениям или уже существует локальная сеть. Так же хорошим примером является необходимость в высокой мобильности и скорости развертывания сети до рабочего состояния. Также, беспроводное подключение рабочего места может быть кстати по эстетическим соображениям, например, минимум проводов и предметов на рабочем месте. При проведении мероприятий ограниченных по времени проще, быстрее и удобнее развернуть беспроводную сеть. Если сотрудники часто переезжают из офиса в офис, перевозить «сеть с собой» так же просто используя беспроводные телефоны и ноутбуки.

В данной работе будет рассмотрена технология LTE как вариант построения мультисервисной сети, получена возможность передачи не только данных, также видео и голосового сигнала через сеть LTE 4G.

1 Архитектура, характеристики и методы анализа мультисервисных сетей широкополосного доступа

1.1 Эволюция телекоммуникационных сетей региональных операторов и провайдеров

Исторически так сложилось, что услуги предоставлялись населению через вторичные сети, каждая из которых была ориентирована на одну основную услугу. Длительное время телефония была основной услугой связи, которая предоставлялась населению. Поэтому все основные усилия Операторов местных сетей связи были направлены на качественное обеспечение населения именно этой услугой. Первыми к услугам доступа в Интернет и кабельного телевидения проявляли интерес новые, или, как иногда их называют, альтернативные Операторы.

Таким образом, складывается ситуация, когда один и тот же пользователь получает различные услуги у нескольких Операторов. Например, услуги телефонной связи - у традиционного Оператора, телевидение - у Оператора кабельного телевидения, а Интернет - у поставщика услуг Internet Service Provider (ISP) (см. рисунок 1.1).

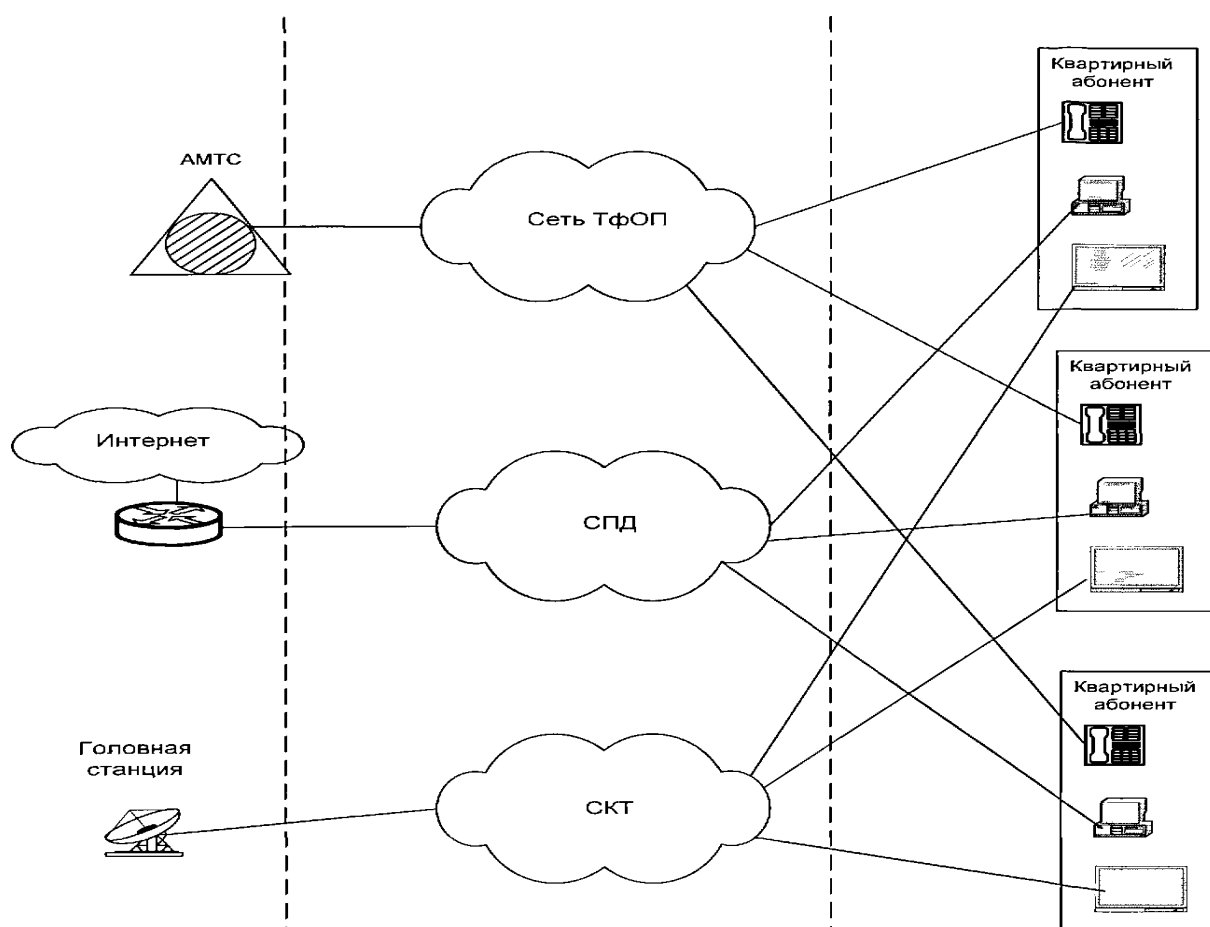


Рисунок 1.1 - Использование моносервисных сетей для предоставления услуг населению

С каждым из этих Операторов пользователь должен был устанавливать договорные отношения, оплачивать счета, участвовать в разборе конфликтных ситуаций. Такая схема предоставления услуг использовалась повсеместно в 90-е годы прошлого столетия. Для каждой из услуг создавалась отдельная вторичная сеть, причем каждый Оператор делал ставку на предоставление одной основной услуги. Несмотря на то, что услуги в данной схеме оказываются тремя различными Операторами, ни о какой серьезной конкуренции между ними говорить не приходится, поскольку каждый из них ориентирован на предоставлении своей определенной услуги, а интересы их практически не пересекаются. Заметим, что интернет сервис провайдеры предлагали также услугу IP телефонии, но для местных Операторов связи эта услуга серьезной конкуренции не представляла.

Реальное появление нескольких Операторов, предлагающих практически одни и те же услуги, привело к тому, что пользователь получил возможность выбрать Оператора, через которого он может получить доступ к услугам связи. Для того чтобы понять, что это значит для Операторов, которые длительное время были практически монополистами в регионе, рассмотрим место Оператора связи в схеме предоставления услуг. Как видно из этого рисунка, сети Операторов занимают место между поставщиками контента и конечными потребителями услуг. Причем, для доступа к одному и тому же контенту можно воспользоваться услугами нескольких Операторов. Это означает, что пользователь имеет возможность отдать предпочтение тому Оператору, который может предложить более широкий спектр основных и дополнительных услуг, более оптимальный тарифный план, лучшую систему технической поддержки, бонусы и т.п. Появляется реальная конкуренция, которую необходимо учитывать при планировании развития сети.

Характерной особенностью большинства сетей традиционных операторов является совместное использование устаревших сетевых технологий, ориентированных на коммутацию каналов и новых технологий, использующих коммутацию пакетов, причем с каждым годом соотношения между ними меняются в пользу коммутации пакетов.

1.2 Архитектуры мультисервисной сети широкополосного доступа

1.2.1 Общие требования к системам телекоммуникаций

Современная сеть должна быть доступна следующим категориям пользователей:

- домашним пользователям;
- органам государственной власти;
- учебным и научным заведениям;
- корпоративным клиентам (малый и средний бизнес);

- крупным корпоративным клиентам.

Важнейшая роль отводится системам телекоммуникаций при реализации национальных проектов, информатизации регионов, созданию электронного правительства и информационного общества. Теоретический задел для решения этих задач был создан в работах. Серьезным этапом в информатизации страны стало подключение в 2008 году 100% школ и учебных заведений к всемирной сети Интернет, а еще ранее - подключение к всемирной паутине важнейших научных центров страны.

Одной из самых главных задач, которые ставят перед собой Операторы связи, является переход к новой структуре сети, ориентированной на передачу разнородного трафика (данных, видео, голоса) с обеспечением необходимого качества обслуживания абонентов, набора современных услуг, безопасности и надежности. При выборе проектных решений необходимо исходить из того, что проектируемая сеть должна удовлетворять следующим требованиям:

- использовать новейшие принципы построения, в основе которых должны лежать протоколы и технологии, одобренные соответствующими комитетами по стандартизации в области связи;
- ориентироваться на широкое применение оптоволокну как при построении сетей доступа, так и магистрального сегмента;
- обладать высокой структурной надежностью и обеспечивать связность сети при обрыве каналов связи и отказе оборудования;
- использовать оборудование операторского класса, обеспечивающего высокую надежность и возможность восстановления соединений в реальном времени при аварийных ситуациях;
- обеспечивать конфиденциальность и защиту данных;
- предусматривать механизмы защиты от подмены адресов с целью предотвращения неавторизованного доступа к услугам;
- обеспечивать преемственность старых услуг на новой архитектуре;
- поддерживать механизмы обеспечения качества обслуживания QoS, что является обязательным условием при передаче чувствительного к параметрам задержек трафика, такого как речь и видео;
- обеспечивать масштабируемость сети, под которой будем понимать возможность многократного увеличения портовой мощности сети, пропускной способности магистрали, возможности расширения списка оказываемых услуг;
- гарантировать выполнение соглашений об уровне обслуживания для заданных групп абонентов, а в идеале - для каждого клиента;
- использовать управление сетью по стандарту TMN.

1.2.2 Основные компоненты архитектуры

Выше отмечалось, что многие Операторы уже приступили к строительству мультисервисных сетей, ориентируясь на предоставление комплексной услуги Triple Play. Конечный пользователь при этом получает доступ одновременно к трем услугам: телефонии, скоростному Интернет и IP-телевидению. Обратим внимание на то, что Оператор мультисервисной сети не просто обеспечивает предоставление старых услуг на новой технологической базе, но и дополняет этот список услуг новыми, которые отсутствуют в традиционных односервисных сетях. В целом, Triple Play - это маркетинговый термин, подразумевающий предоставление трех основных услуг, а также услуг, производных от базовых, на мультисервисных IP-сетях операторского класса.

Поскольку Оператор вместо одной услуги предоставляет сразу три, то это должно способствовать снижению издержек, получению дополнительного дохода и, как следствие этого, повышению конкурентоспособности на рынке предоставления телекоммуникационных услуг.

Архитектура мультисервисной сети при использовании централизованной схемы оказания услуг содержит следующие элементы:

- домашнюю (офисную) сеть в помещении пользователя;
- узлы доступа;
- узлы агрегирования;
- транспортную сеть;
- пограничные устройства предоставления услуг;
- магистраль оператора;
- серверы услуг.

Кратко остановимся на назначении и функциях этих элементов сети.

Домашняя (офисная) сеть может содержать различное оборудование, например, компьютеры, телевизоры, IP и обычные телефонные аппараты, прочую бытовую технику. В качестве пограничного устройства домашней сети рекомендовано использовать специальное устройство - домашний шлюз.

Узел доступа. Главной функцией узла доступа является обеспечение подключения пограничных устройств Customer Premises Equipment (CPE), расположенных у пользователя, с сетью Оператора. Узел доступа является многопортовым и обеспечивает подключение к сети от нескольких единиц до нескольких сотен CPE. Он объединяет трафик данных, голоса и видео от различных пользователей. Для предоставления скоростного доступа в Интернет на узлах доступа сетей операторского класса широкое распространение получило применение Digital Subscriber Line Multiplexer (DSLAM) - мультиплексоров доступа по DSL, позволяющих подключить конечных пользователей по обычным телефонным линиям при помощи технологии xDSL. В последние годы наметилась тенденция использования в качестве узлов доступа устройств Multi Service Access Node (MSAN) - мультисервисных узлов абон-

нентского доступа, особенностями которых являются наличие большого числа популярных интерфейсов, поддержка QoS.

Узел агрегирования. Объединяет трафик от одного или нескольких узлов доступа и направляет его через транспортную сеть в сторону граничного устройства предоставления услуг, а также передает трафик в обратную сторону - от граничного устройства в сторону узла доступа.

Транспортная сеть может иметь различные топологии: кольцевую, линейную, звездообразную и другие. В качестве технологии построения транспортных сетей широкого распространения получила технология Ethernet, при этом сами коммутаторы обычно соединяются друг с другом либо по кольцевой топологии, либо по звездообразной с использованием оборудования спектрального уплотнения.

Пограничное устройство предоставления услуг представляет собой узел, расположенный между транспортной и опорной сетями. Это первый узел сети, на котором завершается IP-сеанс пользователя. Он представляет собой центральный пункт широкополосной сети, через который конечные пользователи получают доступ к различным ее услугам.

В качестве пограничного устройства на сетях операторского класса обычно используют Broadband Remote Access Server (BRAS) - сервер удаленного ШПД. Более подробно о функциях этого устройства будет сказано ниже.

Магистраль оператора объединяет пограничные устройства с серверами контента. Она должна обеспечивать безопасность и качество обслуживания. Если указанные элементы расположены в одном здании или помещении, то ее функции могут быть возложены на локальную вычислительную сеть (ЛВС).

Серверы услуг представляют собой серверы, предназначенные для предоставления услуг пользователям и поддержки работы системы. При предоставлении мультимедийных услуг используют головные станции спутникового телевидения, серверы Video On Demand (VoD), серверы контента, серверы приложений, медиа-шлюзы, программные коммутаторы, системы тарификации и управления и прочие серверы.

Подробно назначение всех элементов архитектуры мультисервисной сети и их взаимодействие при оказании услуг будет рассмотрено на конкретных примерах ниже, а пока остановимся на назначении двух ключевых устройств - широкополосного сервисного маршрутизатора и системы активации услуг.

Широкополосный сервисный маршрутизатор является ключевым устройством, устанавливаемым на границе сети оператора. В его функции входит:

- Обеспечение гарантий качества обслуживания - приоритезация, регулировка трафика в соответствии с тарифным планом;

- Обеспечение предоставления различных услуг - телевидения, услуги доступа в Интернет, услуги виртуальных выделенных линий и услуги виртуальных частных сетей;

- Учёт передаваемого трафика по каждой из предоставляемых услуг. Все указанные выше функции должны выполняться на уровне отдельных абонентов, что позволяет учесть фактически переданный трафик, а также предложить конкурентные тарифные планы с учетом особенностей предоставляемой услуги.

- Система активации услуг дает возможность массового предоставления услуг, позволяет без участия специалистов технической поддержки Оператора управлять подпиской и параметрами предоставляемой услуги. Как правило, она состоит из:

- Web-портала для управления параметрами подписки - специализированной области сайта, где пользователь может самостоятельно изменить набор предоставляемых услуг и поменять параметры предоставления услуги;

- Различных шлюзов для интеграции с другими системами, динамически изменяющими параметры подписки абонентов.

Система активации, как правило, интегрируется с другими ресурсами оператора связи - службой каталогов, для хранения информации о пользователях, а также биллинговой системой (или RADIUS-сервером). При этом повышенное внимание уделяется вопросам аутентификации, а также защиты от несанкционированного доступа к информационным ресурсам, как отдельных пользователей, так и сети в целом.

1.2.3 Особенности оказания услуг для квартирного сектора

Выше было отмечено, что основной услугой, на которую делается ставка Операторами при работе с населением, является комплексная услуга Triple Play. Кратко рассмотрим основные составляющие этой услуги.

Широкополосный доступ в Интернет. Одной из наиболее востребованных услуг является услуга высокоскоростного доступа в Интернет. Возможность создания гибких тарифных планов, отличающихся скоростью подключения, гарантиями обслуживания, вариантами тарификации (помесячная или за фактически пропущенный трафик) делает эту услугу весьма привлекательной для различных категорий пользователей.

В качестве дополнительных услуг высокоскоростного доступа в Интернет может предлагаться сопутствующая услуга увеличения скорости доступа, а также сопутствующая услуга отражения вторжений.

Услуга IP-телефонии. Кратко рассмотрим основные элементы архитектуры системы IP -телефонии на базе стандарта H.323 (см. рисунок 1.2). В его рекомендациях описываются четыре основных компонента:

- терминал;
- шлюз (Gateway);
- контроллер зоны (Gatekeeper);

- сервер управления конференциями - Multipoint Control Unit (MCU).

Под терминалом будем понимать как обычный IP-телефон, так и компьютер, оснащенный соответствующим программным обеспечением.

Фрагмент мультисервисной сети для предоставления услуги управляемого ШПД в Интернет приведен на рисунке 1.2. Назначение основных компонентов архитектуры сети рассмотрено выше.

Здесь же отметим, что в рассматриваемом примере конечные пользователи подключены через домовые сети, построенные на базе технологии Ethernet, а также по технологии xDSL.

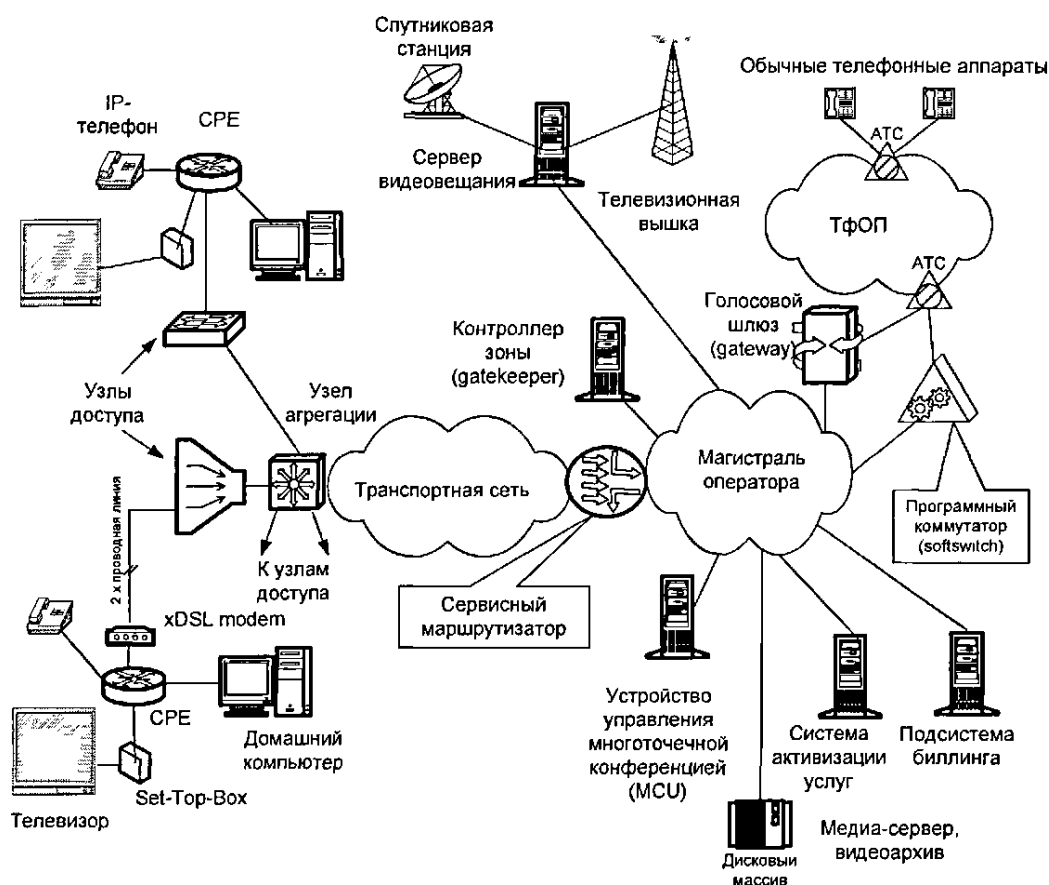


Рисунок 1.2 - Фрагмент мультисервисной сети для предоставления комплексной услуги Triple Play

Шлюз связывает IP-сеть с телефонной сетью общего пользования (ТфОП), обеспечивая трансляцию упакованного в пакеты оцифрованного и компрессированного голоса в форму, пригодную для передачи по ТфОП. Кроме того, в функции шлюза входит трансляция протоколов сигнализации телефонных сетей, таких как ОКС 7, протоколы сигнализации стека H.323. Благодаря шлюзу пользователи услуги Triple Play могут звонить абонентам ТфОП, а пользователи существующей телефонной сети - соответственно, абонентам Triple Play.

На контроллер зоны возлагаются функции управления вызовами. Он выполняет регистрацию и авторизацию абонентов, преобразование адресов (DNS в телефонные и обратно), маршрутизацию вызовов от IP-телефона к шлюзу, а в случае необходимости, и к контроллеру другой зоны. Заметим, что функции контроллера зоны могут быть встроенными в шлюзы и другие элементы архитектуры H.323.

Сервер управления конференциями MCU обеспечивает организацию аудиоконференций для трех и более терминалов (IP-телефонов).

Услуги телевизионного вещания и видео по требованию с гарантированным качеством. Услуга состоит в вещании телевизионных программ абонентам сети с высоким качеством видеосигнала, возможностью заказа различных пакетов программ. Получаемый со спутниковой антенны телевизионный сигнал, при помощи соответствующих видео-серверов преобразуется в вид, удобный для передачи по IP-сети (см. рисунок 1.2). Для передачи пакетов на участке видео-сервер - BRAS используется технология IP Multicast. Для дальнейшей передачи пакетов после BRAS необходимы механизмы репликации трафика. После прохождения через узлы доступа видеопоток поступает к абоненту, где обрабатывается на STB (set-top-box) и выводится на экран телевизора. Кроме предоставления услуг обычного широковещательного телевидения, благодаря возможности организации обратной связи с абонентом, имеется возможность организации интерактивных сервисов, наибольший интерес среди которых представляют телевидение по запросу, музыка по запросу, игры по запросу.

1.2.4 Особенности оказания услуг для корпоративных клиентов

В предыдущем пункте рассмотрены основные услуги, представляющие интерес для населения. Разумеется, эти же услуги могут оказываться и органам государственной власти, организациям, фирмам, компаниям. Кроме рассмотренных выше услуг, входящих в пакет Triple Play, для корпоративных клиентов предоставляется услуга виртуальной частной сети (ВЧС) и ее модификация - виртуальная частная линия. В технической литературе вместо термина ВЧС часто используется англоязычный термин Virtual Private Network (VPN).

Широкое использование информационных технологий в процессах управления компаниями, корпорациями, органами государственной власти приводит к постоянному росту передаваемой информации между подразделениями, находящимися в различных районах населенного пункта, различных городах, между центральными и периферийными офисами компаний. Еще недавно традиционные Операторы предлагали для этой цели темные волокна, прозрачные каналы и тракты, на базе которых ведомственные связисты развертывали собственные частные сети, то теперь появилась возможность предоставления высокотехнологичной услуги ВЧС.

Услуга ВЧС предоставляет возможность организации различных видов связи между офисами компании с заданной полосой пропускания и обеспечением гарантий качества обслуживания. Фактически ВЧС является перспективной технологией, которая призвана заменить существующие технологии построения корпоративных сетей. Использование ВЧС обеспечивает сокращение расходов за услуги связи, перенос задач построения транспортной инфраструктуры на оператора связи.

Важной особенностью услуги ВЧС является возможность системного администратора учреждения, организации или компании самостоятельно, без участия технических специалистов со стороны Оператора, оперативно изменять такие параметры предоставления услуги, как скорость подключения, полоса пропускания для разного вида трафика, делают эту услугу весьма удобной и привлекательной. Такая необходимость может потребоваться, например, во время сеанса видеоконференцсвязи. Динамическое изменение параметров услуги осуществляется системным администратором компании-подписчика через web-портал оператора. В рамках предоставления услуги ВЧС в качестве сопутствующих услуг Оператор может предложить: межсетевое экранирование, защиту от сетевых вторжений, доступ в Интернет, трансляцию адресов.

Фактическое предоставление услуги осуществляется сервисными маршрутизаторами, связанными магистралью оператора. Параметры предоставления услуги настраиваются заказчиком самостоятельно, через web-портал системы активации. Система активации динамически изменяет настройки на сервисных маршрутизаторах в соответствии с запросами пользователей и тарифными планами. Заметим, что сеть в центральном офисе может иметь достаточно сложную структуру, подобную той, что приведена на рисунке 1.3.

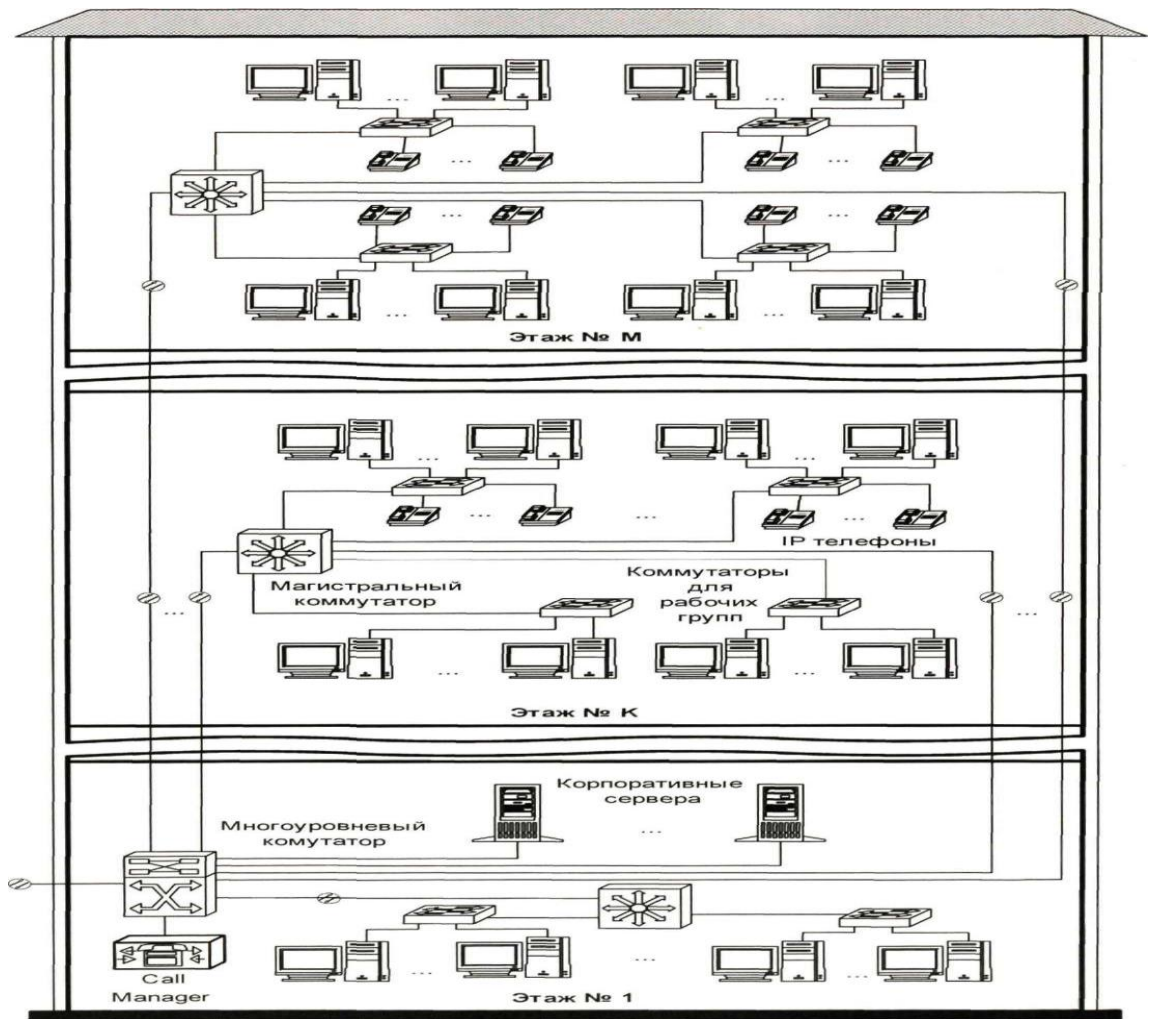


Рисунок 1.3 - Пример построения сети в помещении центрального офиса

Услугу виртуальной выделенной линии можно рассматривать как частный случай услуги ВЧС. Использование данной услуги позволяет небольшим и средним компаниям обеспечить подключение удаленных офисов к центральному, соединение офисов друг с другом с гарантиями по полосе пропускания и качеству обслуживания.

Пример предоставления виртуальной выделенной линии между центральным офисом и отделением компании приведен на рисунке 1.4. В данном случае оборудование, установленное у заказчика, имеет окончание Ethernet.

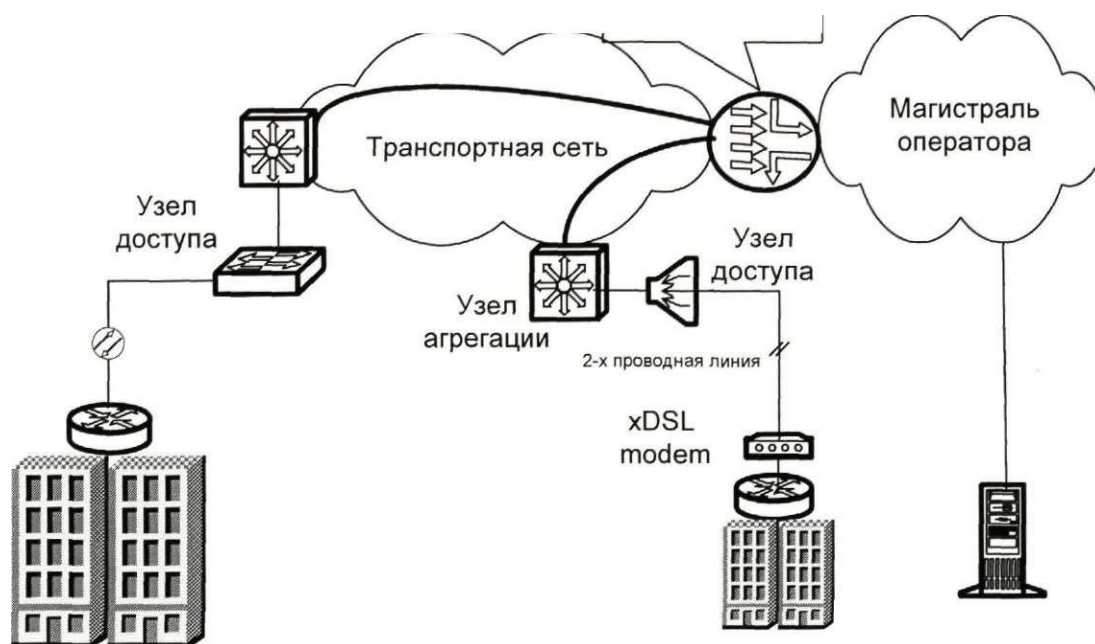


Рисунок 1.4 - Фрагмент мультисервисной сети для предоставления услуги

Сервисный маршрутизатор обеспечивает коммутацию виртуального соединения через магистраль Оператора (или локальную коммутацию). Сервисный маршрутизатор выполняет регулировку трафика в соответствии с назначенным тарифом.

Обратим внимание на то, что и домашние, и корпоративные пользователи используют для доступа к услугам и ресурсам мультисервисной сети транспортную сеть. При этом корпоративные клиенты и домашние пользователи зачастую одни и те же люди, которые в рабочее время пользуются ресурсами сети, находясь на рабочем месте, со служебного компьютера, а в нерабочее время (вечером, ночью, в праздничные и выходные дни) используют услугу Triple Play со своего домашнего компьютера. Используя этот факт, можно перераспределять пропускную способность транспортной сети между различными классами обслуживания таким образом, чтобы существенно улучшить показатели качества обслуживания в нерабочее время для домашних пользователей без ущерба для корпоративных клиентов.

1.3 Подключение конечных пользователей к мультисервисной сети

Оценим требуемую пропускную способность на участке сети CPE домашнего пользователя - порт узла доступа (УД). Перечень наиболее популярных услуг традиционного Оператора связи с указанием требуемой полосы пропускания для каждого вида сервиса приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Услуги мультисервисной сети с требуемой полосой пропускания

Услуга (сервис)	Требуемая полоса пропускания
Удаленный доступ в Интернет	От 128 Кбит/с до 6 Мбит/с
Широковещательное телевидение (IP-TV) (Полоса, занимаемая одной телепрограммой)	От 2 Мбит/с до 5 Мбит/с В зависимости от степени компрессии
Видео по запросу (VoD) (Полоса, занимаемая одним пользователем)	От 2 Мбит/с до 5 Мбит/с В зависимости от степени компрессии
IP-телефония (Один разговор)	24 Кбит/с
Аудио по запросу	От 110 Кбит/с до 700 Кбит/с
Выделенная линия для корпоративных пользователей - доступ в Интернет и корпоративные сети	От 1 Мбит/с до 6-50 Мбит/с для подключения по xDSL до 100 Мбит/с при подключении через Ethernet
Удаленное обучение	От 128 Кбит/с до 6 Мбит/с
Сетевые игры	От 40 Кбит/с до 600 Кбит/с

На сегодняшний день подключение одного квартирного абонента на скорости 6-8 Мбит/с является вполне приемлемым решением. Такая скорость обеспечивает просмотр одной телевизионной программы, доступ в Интернет на скорости 1-2 Мбит/с, а также возможность ведения телефонного разговора. Со временем требования к скорости подключения будут только расти.

2 Технология LTE 4G

LTE (Long Term Evolution) - название мобильного протокола передачи данных. LTE это продолжение развития технологии CDMA,UMTS, основанной на использовании OFDM (к клиенту), SC-FDMA (от клиента) и MIMO. Особенностью этой технологии является возможность работать с частотным (парным, FDD) и временным (непарным, TDD) разделением каналов, что позволяет применять различные технологии оборудования, находящегося у операторов. Применение антенных технологий MIMO позволяет базовой станции обслуживать в 10 раз больше клиентов, чем позволяла прежняя технология WCDMA.

2.1 Основные характеристики LTE

Основными характеристиками LTE являются:

- максимальная скорость приема 326 Мбит/с с шириной канала 20 МГц;
- максимальная скорость отдачи 86.4 Мбит/с с шириной канала 20 МГц;
- работа в режимах TDD и FDD;
- ширина канала масштабируется до 20 МГц, с различным (1.4, 2.5, 5, 10, 15, и 20 МГц) шагом;
- увеличенная спектрально-частотная эффективность в сравнении с Release 6 HSPA;
- время отклика, до 10 мс, между оборудованием пользователя и базовой станцией и менее 100 мс время перехода в активное из неактивного состояния.

LTE является сетью с пакетной передачей данных и оптимизирована для использования IP технологий и всех возможностей, которые присущи ip-сетям. Соответствующие технические требования разработаны и утверждены международной организацией 3GPP.

LTE - это переход от систем CDMA (WCDMA) к системам OFDMA, а также переход от систем с коммутацией каналов к системе e2e IP (система коммутации пакетов). Для перехода на LTE требуются устройства для абонентов, способные одновременно работать в сетях LTE/3G. Это необходимо учитывать для более плавного перехода к новейшим сетям.

Вне всяких сомнений, сегодняшний телекоммуникационный мир стоит на пороге тотальной мобильности. Уверенность в этом подтверждают неустанные разработки и колоссальные инвестиции производителей в области систем беспроводной связи. Мобильные технологии с каждым годом все агрессивнее вторгаются в фиксированную «епархию», а качество мобильных реализаций услуг телефонии передачи данных становится вполне сопоставимым с тем, к которому потребитель привык в традиционных сетях.

Технология LTE - яркий тому пример. Основная задача, поставленная перед ней - обеспечение высоких скоростей передачи данных и расширение спектра услуг в сетях мобильной связи с одновременным снижением затрат оператора на предоставление данных услуг. Помимо обмена большими видео- и звуковыми файлами, производители обещают обеспечить такие услуги, как потоковое видео, разговоры о котором ведутся давно, но пока реализация данного сервиса в больших сетях с помощью альтернативных технологий сложно назвать полноценной.

Ценным преимуществом технологий 4G в целом, и LTE - в частности, является так называемый «открытый» интернет-доступ. Это означает, что абонент сети мобильной связи может выходить в интернет с помощью наиболее удобного для него в данный момент устройства - мобильного

телефона, КПК, смартфона, ноутбука, имеющих наиболее подходящие для текущего обмена информацией характеристики (размер экрана, объем памяти и т.д.)

Может возникнуть резонный вопрос - будут ли востребованы массовым рынком гиперскорости и суперуслуги и не лягут ли в итоге инвестиции оператора в модернизацию сети грузом на плечи рядовых пользователей, которых вполне устраивает доступ к мобильной «аське» через GPRS или EDGE? Безусловно, круг пользователей, для которых высокоскоростной обмен большими объемами информации в мобильном формате весьма ограничен. Разработчики технологии LTE это предусмотрели и предоставили сотовым операторам возможность эффективного планирования сети и адаптивной модернизации. Производители предлагают LTE-совместимые базовые станции, которые интегрируются в существующую 2G или 3G сеть и поддерживают одновременно несколько стандартов. Таким образом, для предоставления указанных сервисов оператору нет необходимости модернизировать всю свою сеть - переход на 4G может осуществляться зонально, там, где концентрация потенциальных пользователей высокоскоростной передачей данных наиболее высока. Как правило, это деловые районы, промышленные объекты, зоны разработки полезных ископаемых, в которых телекоммуникационная инфраструктура традиционно развита крайне слабо. В результате требуемые доработки сети оказываются не слишком болезненными для оператора как с точки зрения затрат, так и объема работ.

Расчеты, опубликованные рядом мировых операторов впечатляют - по словам Сола Трухильо, генерального директора австралийской компании Telstra, оператор ждет при переходе на LTE снижения затрат на передачу данных более, чем на 20% по сравнению с 2G технологиями. В основе данных расчетов лежит не только более высокая спектральная эффективность технологии LTE по сравнению с системами 2 и 3-го поколений, но и то, что операционные расходы на обслуживание сети значительно снижаются. Важно также учитывать, что при внедрении LTE существует возможность использования IP-телефонии, что напрямую влечет к снижению стоимости телефонных переговоров. В результате, несмотря на необходимость первоначальных инвестиций, переход на LTE в конечном счете может снизить затраты оператора на предоставление услуг, что приведет к снижению тарифов для конечных пользователей.

Между тем, любые «бумажные» выкладки относительно революционных возможностей новых технологий становятся действительно значимыми для рынка, когда они получают практическую реализацию. Ожидания разработчиков, производителей и ведущих операторов относительно массового внедрения LTE вселяют надежду в то, что переход на сети 4G все ближе приближается к реальности. Очевидно, что развитие стандарта во многом зависит от решения производителей сетевого

оборудования и терминальных устройств. Согласно планам UMTS-форума, до конца 2009 года должен появиться первый коммерческий аппарат LTE, первый чипсет и первая ""дата-карта"" для использования в ноутбуках. Nokia обещает начать изготовление абонентских устройств LTE в 2010 году, LG уже выпустила чип LTE (3GPP) 13x13 мм, скорость 60 мбит/с. Первые абонентские устройства на базе данного чипа компания планирует выпускать с 2010 года.

Уже 27 операторов сотовой связи со всего мира заявили о намерениях развивать сети LTE, 12 из них рассчитывают осуществить коммерческий запуск уже в 2010 г. Так, шведская TeliaSonera совместно с Ericsson активно строит сеть LTE в Стокгольме, Vodafone в Германии в партнерстве с Huawei Technologies испытывают LTE в диапазоне 790-862 МГц, а Verizon даже осуществила первый звонок LTE в опытной зоне в Сиэтле, США.

Что касается развития LTE в Казахстане, то рыночные перспективы данной технологии весьма реальны. Так, возможность использования низких частот, которыми уже располагают операторы, дает надежду на то, что административные согласования и получения разрешений не окажутся такими же драматичными, как в случае с 3G. Еще одним плюсом данного частотного диапазона является то, что на низких частотах обеспечивает более широкое покрытие и более устойчивую связь внутри зданий, что крайне актуально в условиях географии Казахстана. Надо отметить, что крупнейшие отечественные операторы уже начали присматриваться к LTE. Так, лидирующий оператор сотовой связи Kcell 19 августа провел тестовые испытания LTE в своем головном офисе в Алматы.

Пока остальные компании только тестируют данную технологию, компания «Казахтелеком» запустила сеть передачи данных нового поколения LTE (4G) в городах Актау, Актобе, Атырау, Караганда, Усть-Каменогорск и Шымкент, сообщает пресс-служба компании. Таким образом, услуга высокоскоростного мобильного интернета 4G доступна на территории, где проживает 30% населения Республики Казахстан.

Мобильная сеть LTE (4G) была введена в коммерческую эксплуатацию в городах Астана и Алматы в декабре 2012 года с проведением последующего расширения сети в городах-спутниках Алматы - Есик, Каскелен, Капшагай, Талгар и Шамалган, а также дополнительно в более чем 30 населенных пунктах Алматинской области в четвертом квартале 2013 года.

По словам Министра транспорта и коммуникаций Аскара Жумагалиева, согласно государственной программе «Информационный Казахстан - 2020», до конца 2014 года планируется обеспечить покрытие услугой 4G всех областных центров и городов с населением более 50 тысяч жителей, затем начать внедрение технологии в районных центрах».

Между тем, как отметил Председатель Правления АО «Казахтелеком» Куанышбек Есекеев, в настоящее время абонентская база услуги ALTEL 4G достигла показателя в 100 тысяч пользователей. «Сеть четвертого поколения

позволяет обеспечить максимальную скорость до 100 Мбит/с, что делает возможной работу абсолютно новых сервисов, недоступных в сетях предыдущих поколений», - подчеркнул он.

2.2 Цели разработки LTE

Целями и задачами разработки LTE являются:

- снижение затрат на передачу данных;
- увеличение скорости передачи данных;
- возможность предоставления большего спектра услуг по более низкой цене;
- повышение гибкости использования уже существующих систем.

Но основная цель – это увеличение скорости передачи данных, потому что все остальные цели, вытекают из решения этой задачи. Внедрение LTE обеспечит возможность создания высокоскоростных систем мобильной связи, оптимизированных для пакетной передачи данных со скоростью до 300 Мбит/с от базовой станции к пользователю и до 75 Мбит/с в обратном направлении. Построить сеть LTE будет возможно в различных частотных диапазонах - от 1.4 МГц до 20 МГц, а также по различным технологиям разделения - FDD (частотное) и TDD (временное).

Для внедрения скоростей до 326.4 Мбит/с в планах использовать технологию MIMO в конфигурации антенн 4x4. В конфигурации 2x2 пиковые скорости «вниз» достигают 172.8 Мбит/с (в частотной полосе 20 МГц). Максимальная скорость в направлении "вверх" достигает 86.4 Мбит/с на каждую полосу в 20 МГц.

Радиус действия базовой станции LTE различен. В оптимальном случае - это около 5 км, но при достаточном поднятии антенны и существующей потребности он может составить до 100 км.

Протокол LTE более эффективно использует частотный спектр, отличается увеличенной емкостью и меньшими значениями задержки (latency), которая для небольших пакетов может достигать значения всего в 5 мс. Увеличение скорости передачи данных способствует повышению качества предоставляемых услуг, ускоряет распространение новых мультимедийных сервисов, таких как - многопользовательские онлайн-игры, видеоконференции, социальные сети, системы мониторинга и M2M, интерактивные онлайн приложения и прочее. Еще одно из преимуществ – это то, что в отличие от WCDMA (требующей полосы в 5 МГц), LTE-сеть способна работать с разными полосами частот - от 1.5 МГц до 20 МГц. Звонок по мобильному телефону или сеанс передачи данных, инициированный в зоне действия LTE, технически передается без разрыва и потерь в сети 3G (WCDMA), GSM/GPRS/EDGE или в CDMA2000.

Внедрение технологии LTE позволяет операторам уменьшить общие затраты, сократить совокупную стоимость эксплуатации сети, расширить

свои возможности в области предоставления различных услуг и технологий, увеличить доходы за счет предоставления более качественных услуг передачи данных. Сеть также поддерживает MBSFN (Multicast Broadcast Single Frequency Network), что позволяет внедрять такие услуги, как мобильное ТВ в противовес DVB-H.

Стандарт Rel.8 предусматривает возможность одновременной работы до 200 активных пользователей в каждой соте, использующей полосу в 5 МГц.

2.3 Возможности, обеспечиваемые LTE

Разработка LTE предоставит пользователям следующие возможности:

- Высокая чувствительность;
- Высокая пропускная способность сети;
- Больше каналов мобильного ТВ;
- Поддержка онлайн-игр за счет низкого latency;
- Высокая интерактивность;
- Более высокая скорость загрузки данных;
- Возможность передачи голоса по IP/IMS;
- Более высокое качество обслуживания;
- OFDMA на линии от базовой станции с модуляцией 64QAM;
- Лучшее качество изображения мобильного ТВ;
- TDD, и FDD профили;
- Полностью IP e2e сеть;
- Ширина канала до 20 МГц;
- Улучшенная антенная аппаратура.

Технология LTE /Long-Term Evolution/ - это основное направление эволюции сетей сотовой связи третьего поколения /3G/. В январе 2008 г международное объединение Third Generation Partnership Project /3GPP/, разрабатывающее перспективные стандарты мобильной связи, утвердило LTE в качестве следующего после UMTS стандарта широкополосной сети мобильной связи.

LTE обеспечивает теоретическую пиковую скорость передачи данных до 326,4 Мбит/с от базовой станции к пользователю и до 172,8 Мбит/с в обратном направлении. Для сравнения, сети второго поколения /2G/ теоретически способны обеспечить пиковую скорость передачи данных с помощью технологии GPRS 56-114 Кбит/с, а помощью EDGE до 473,6 Кбит/с. Сети третьего поколения /3G/ обеспечивают скорость передачи данных до 3,6 Мбит/с.

Сети 4G на основе стандарта LTE способны работать практически по всей ширине спектра частот от 700 МГц до 2,7 ГГц.

Технологию LTE протестировали такие поставщики телекоммуникационного оборудования как Alcatel-Lucent, Ericsson, Huawei, Motorola, Nokia Siemens Networks, Fujitsu, ZTE.

Цели создания стандарта LTE:

- увеличение возможностей высокоскоростных систем мобильной связи;
- уменьшение стоимости передачи данных;
- возможность предоставления широкого спектра недорогих услуг;
- Отличие 4G от 3G;
- повышенная скорость;
- лучшее использование частотного спектра;
- меньшая задержка при отправлении пакетов.

При использовании станций LTE радиус покрытия достигает от 5 км (оптимально) до 30 км или даже 100 км (при необходимости).

Благодаря короткому времени отклика (менее 50 мс), LTE-интернет намного удобнее, используемого сейчас 3G и, по ощущениям, уже мало отличается от кабельного соединения. По наблюдениям аналитиков, внедрение стандарта LTE позволит операторам снизить себестоимость услуг передачи данных в 6 раз. В результате стоимость мобильного интернета для конечных пользователей снизится. К тому же, LTE предоставляет расширенные технические возможности для предоставления мультимедийных услуг, например, качественного мобильного телевидения, поэтому, внедрение этих сервисов также позволит операторам получить источник для дополнительного заработка. Однако при этом возможно падение прибыли от голосовой связи, которая свободно будет осуществляться через интернет-телефонию.

Иначе говоря, повышается скорость передачи данных и, соответственно, повышается качество услуг, что в свою очередь, способствует распространению современных мультимедийных сервисов.

Стандартизация LTE

LTE - это следующий важный шаг в развитии мобильной связи, который оформлен, как Release 8 3GPP (3rd Generation Partnership Project). LTE использует ортогональное мультиплексирование с частотным разделением (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing) в качестве технологии радиодоступа, вместе с модернизированными антенными технологиями.

3GPP - это организация, основанная в 1998 году. Она объединила несколько организаций в области стандартизации телекоммуникаций. В настоящее время туда входят следующие компании CCSA, ARIB, ATIS, ETSI, TTA и TTC. Новаторы и разработчики со всего мира, представляющие более шести десятков операторов, вендоров и НИИ, принимают участие в совместных попытках сформулировать стандарт радиодоступа LTE.

Помимо протокола LTE, 3GPP разработала также "плоскую" сетевую архитектуру, основанную на применении IP-технологии. Данная архитектура определена, как часть разработок в рамках проекта SAE (System Architecture Evolution). Также были разработаны архитектура и концепции LTE-SAE для поддержки массового использования любых услуг на базе интернет протокола. Архитектура основана на эволюции существующей базовой сети GSM/WCDMA в сторону упрощения операций и эффективного по затратам развертывания.

Также было инициировано взаимодействие между 3GPP и 3GPP2 (организация, занимающаяся стандартизацией CDMA) с целью оптимизации межсетевого взаимодействия между CDMA и LTE-SAE. Это означает, что операторы CDMA смогут развить свои сети до LTE-SAE и воспользоваться экономией на масштабе и глобальном характере производства микросхем (чипов), что сыграло большую роль в успехе GSM и WCDMA.

Отправной точкой для стандартизации протокола LTE стала рабочая встреча 3GPP RAN Evolution Workshop, состоявшаяся осенью 2004 года в Канаде. В том же 2004 году начались исследования, целью которых было обозначить временные рамки эволюции технологии радиодоступа 3GPP:

- сокращенная стоимость на бит;
- гибкое использование существующих и новых частотных диапазонов;
- увеличение объема услуг - больше услуг за меньшую цену с более высокой удовлетворенностью пользователей;
- упрощенная архитектура и открытые интерфейсы;
- сниженное энергопотребление терминалов.

Данное исследование потребовалось для того, чтобы подтвердить, что концепция LTE сможет обеспечить набор требований, сформулированных в 3GPP TR 25.913 Feasibility Study of Evolved UTRA and UTRAN.

Разработку LTE разбили на контрольные точки. График работ был согласован на заседаниях 3GPP летом 2007 г. Результаты показывали, что LTE не только отвечает, а иногда и превосходит, цели, установленные в отношении максимальных скоростей, пропускной способности, а также по производительности VoIP и Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS).

Завершить процедуру стандартизации LTE запланировали до конца 2007 года. После выхода первой спецификации были запланированы доработки и улучшения, которые будут связаны с изменениями требований и функциональности данного протокола.

Набор исходных требований 3GPP к LTE:

- повышенная пиковая скорость: 100 Мбит/с в направлении вниз и 50 Мбит/с в направлении вверх;
 - сокращение отклика сети радиодоступа до 10 мс
- повышенная спектральная эффективность (в 2-4 раза, по-сравнению с HSPA Release 6);

- эффективная по затратам миграция от радиointерфейса и архитектуры Release 6;
- Universal Terrestrial Radio Access (UTRA);
- улучшенная возможность широко вещания;
- IP-оптимизация (фокус на услугах в области пакетной коммутации);
- масштабируемый диапазон от менее, чем 5 МГц до 5 МГц, 10 МГц, 15 МГц и 20 МГц;
- поддержка работы, как с парными, так и с непарными частотными диапазонами;
- поддержка межсетевого взаимодействия с существующими системами 3G и системами, которые не стандартизировались 3GPP.

2.4 Оборудование

Технически, LTE является производным от GSM сетей поколений 2, 2.5, 3G. Поэтому, наиболее подходящими сетями для внедрения данной технологии являются уже существующие сети мобильных операторов. Апгрейд оборудования для работы с поддержкой сетей 3G/LTE, позволяет развить существующую сеть, объединяя все возможности передачи голоса с ip-сетями, создавая, таким образом, единую, мультисервисную среду передачи данных.

На данный момент, в разработке и испытании оборудования для LTE участвуют многие гранды радиоэлектронной промышленности, в частности, Alcatel-Lucent, Motorola, NTT DoCoMo, Ericsson и т.п.

2.5 Варианты сосуществования сети LTE и сетей предыдущих поколений

Наилучшим вариантом для тех операторов, которые уже располагают построенными сетями 2G и/или 3G/UMTS (WCDMA или CDMA2000), является построение конвергентной сети 2G/3G/LTE с единым управлением и поддержкой плавных хендверов без прерывания сервисов. Для построения такой сети должны быть доступны в конвергентном варианте все основные составляющие сети:

- конвергентные мультистандартные BTS;
- конвергентная транспортная сеть;
- конвергентные услуги;
- конвергентный O&M.

Миграция сетей от 2G/3G к сетям LTE является комплексной задачей и подразумевает работы сразу по нескольким направлениям:

- модернизация радиоподсистемы и радиопланирование;
- модернизация транспортной сети Mobile Backhaul;
- модернизация ядра пакетной сети Mobile Packet Core.

Модернизация радиоподсистемы и радиопланирование

Основное отличие в аппаратной части радиоподсистемы LTE от сетей 2G/3G в том, что в данных сетях отсутствует контроллер базовых станций. Данную функцию частично выполняют сами базовые станции eNodeB (см. рисунок 2.1). Также можно отметить, что базовые станции LTE могут взаимодействовать напрямую друг с другом с помощью интерфейса X2 через транспортную сеть Mobile Backhaul. Этот интерфейс используется при процедуре handover (то есть переход абонента из зоны обслуживания одной БС в зону обслуживания другой) и передачи трафика при переходе. В классической архитектуре 2G/3G базовые станции могут производить обмен данными только через контроллер (топология "звезда"). Часто при миграции сети современные станции 3G могут быть модернизированы до БС LTE простым обновлением программного обеспечения. И также нередко одна базовая станция может поддерживать функционал 2G/3G/LTE. В этих случаях процесс модернизации происходит с меньшими затратами.

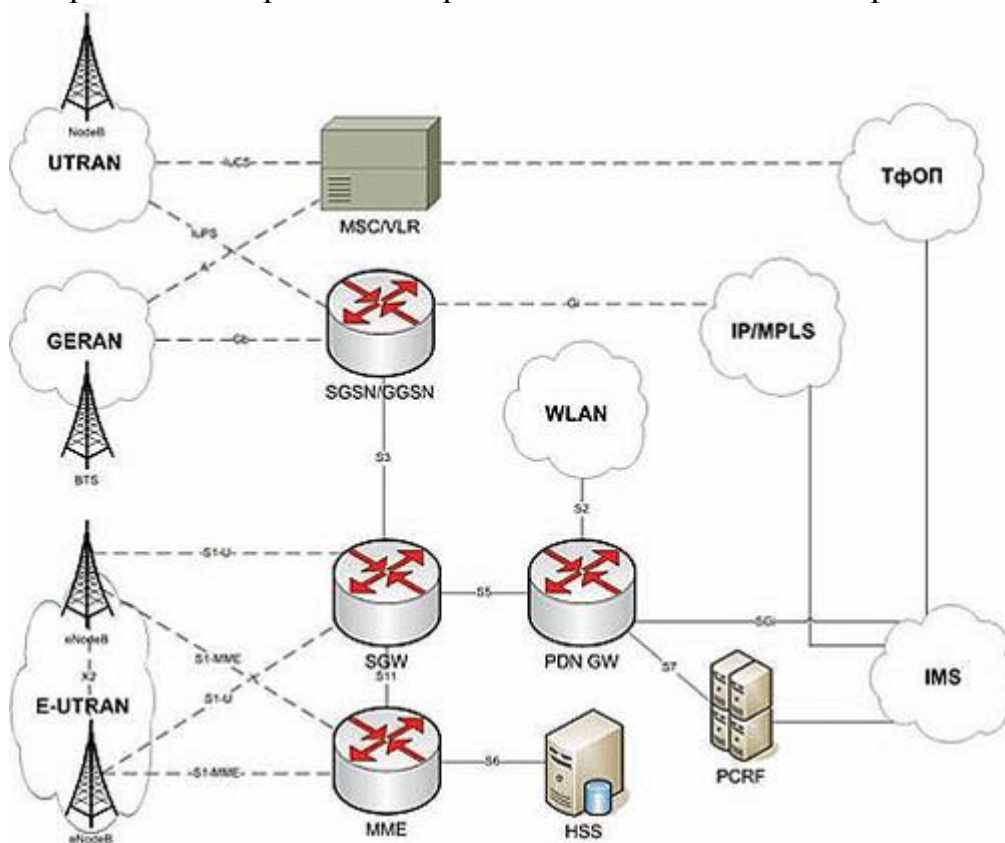


Рисунок 2.1 – Архитектура мобильного пакетного ядра

Радиопланирование в случае LTE существенно не отличается от этого процесса для 3G-сетей и включает в себя такие фазы, как:

- определение приблизительных бюджетов радиоканалов;
- детальное моделирование распространения радиоволн;
- оптимизация и точная настройка для каждой вышки (БС);

- тестовые испытания и корректировка.

Если сравнивать бюджет радиоканала HSPA (3G), то LTE имеет преимущество порядка 2 дБ за счет меньших значений интерференции. Более высокие частоты 2600 МГц предпочтительны для плотной городской застройки, поскольку позволяют организовать больше сот на одной и той же площади, что предпочтительно для больших скоростей передачи при большом количестве абонентов. Частоты 800 МГц можно использовать в загородной местности, так как они обеспечивают большее покрытие при меньшей емкости на единицу площади и за городом обычно не требуются такие скорости, как в городе, так как плотность абонентов значительно меньше.

Модернизация транспортной сети Mobile Backhaul. После того как оператор получит частоты и пройдет все необходимые процедуры согласования, наиболее важным является вопрос транспортной инфраструктуры. Хорошо, если у оператора уже есть транспортная IP/MPLS-сеть достаточной емкости. Этот вопрос важен, поскольку базовая станция LTE на текущий момент может генерировать порядка 100-200 Мбит/с трафика. При этом БС 2G в основном используются для передачи голосовой информации с минимальным объемом. Базовые станции 3G способны генерировать гораздо больший объем трафика (по сравнению с БС 2G), но обычно это все равно значительно меньше трафика БС LTE. Сети 2G/3G часто в качестве транспорта используют SDH (TDM) сети (см. рисунок 2.2).

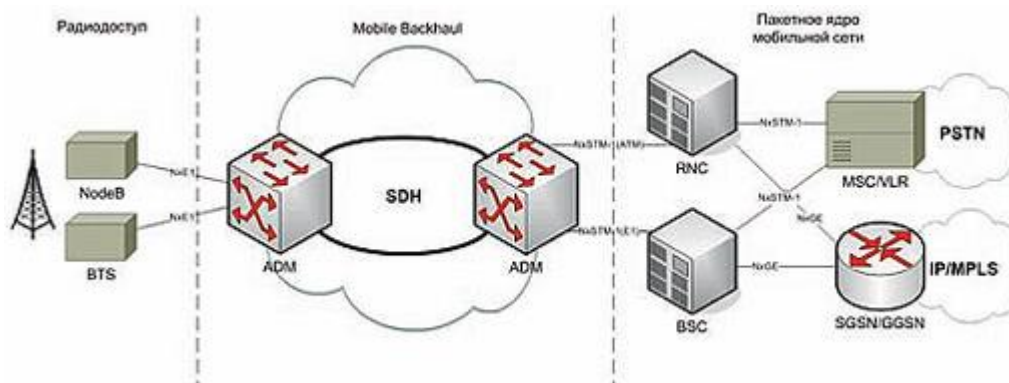


Рисунок 2.2 – Схема мобильной сети с Mobile Backhaul

Емкость этих сетей рассчитана в основном на передачу небольших объемов трафика и голоса. Модернизация таких сетей зачастую связана с дополнительными большими инвестициями и не всегда приносит ожидаемую гибкость и масштабируемость при увеличении емкости. Это связано с характером передачи данных - коммутация каналов в отличие от пакетной коммутации IP-сетей. Большинство операторов уже при миграции к сетям 3G построило серьезную транспортную сеть IP/MPLS. Современные технологии

позволяют подключать к такой сети традиционные базовые TDM-станции E1-интерфейсами. Для передачи TDM-трафика через IP-сеть используются методы эмуляции трафика Circuit Emulation over Packet Switched Network (CEoPSN) и Structure-Agnostic TDM over Packet (SAToP).

Основные вопросы, на которые необходимо ответить при проектировании сетей Mobile Backhaul для LTE, следующие:

- предполагаемые точки подключения БС и емкости каналов (определяется на этапе радиопланирования);
- интерфейсы, подключаемые БС к маршрутизатору Cell-Site-Router;
- тип LTE-стандарта, предполагаемого к внедрению на сети;
- каким образом будет осуществляться синхронизация БС;
- сервисная составляющая.

По первому вопросу имеет значение расположение будущих или существующих точек сети Mobile Backhaul. От этого зависит, какие каналы, какой емкости и в какие места необходимо протягивать. В связи с серьезным увеличением емкости сети чаще всего до базовых станций имеет смысл тянуть оптические каналы. К сожалению, это не всегда возможно, поэтому альтернативой является подключение пролетов пакетными радиорелейными линиями (РРЛ) "точка-точка", современные решения которых предлагают радиоканалы до 1 Гбит/с и более. Поскольку обычно РРЛ работают на гораздо более высоких частотах (десятки ГГц), чем LTE, то радиопомехи от РРЛ не влияют на работу БС LTE. БС LTE подключаются интерфейсом GigabitEthernet к маршрутизатору доступа Cell-Site-Router, в контексте этого имеет значение только тип интерфейса (оптический или медный). Если маршрутизатор находится в том же контейнере, что и БС, то логичнее будет подключить БС медным интерфейсом, при удалении - оптическим.

В настоящий момент существуют следующие разновидности LTE: LTE FDD (Frequency Division Duplex), LTE TDD (Time Division Duplex). И дальнейшее развитие стандарта - LTE Advanced, соответствующее требованиям к сетям четвертого поколения. Актуальными являются версии LTE FDD и LTE TDD. Основное отличие между ними - способ деления каналов на прием/передачу. LTE FDD подразумевает две несущие частоты для приема/передачи, а LTE TDD - одну несущую частоту, но деление по времени. Это имеет принципиальное значение с точки зрения синхронизации между БС. Технология LTE FDD подразумевает достаточность частотной синхронизации, а LTE TDD обязательно требует фазовую синхронизацию. В России используются оба типа технологий, поэтому выбор синхронизации может быть различен. Однако не стоит забывать, что технология LTE Advanced изначально подразумевает использование фазовой синхронизации, поэтому целесообразнее сразу рассматривать фазовую синхронизацию с прицелом на будущее.

Виды синхронизации

Существуют следующие наиболее распространенные варианты синхронизации:

- спутниковая - GPS/ГЛОНАСС;
- от существующей TDM-сети;
- с помощью пакетной сети IEEE 1588v2;
- с помощью пакетной сети SyncE.

Спутниковая синхронизация - проверенное временем рабочее решение, но необходимо учитывать зависимость точности от атмосферных и радиопомех. Из преимуществ синхронизации от TDM-сети следует отметить возможность использования существующей инфраструктуры без дополнительных вложений, однако не на всех планируемых узлах может быть возможность подключения от TDM-сети для синхронизации.

При использовании пакетных методов необходимо учитывать, что с помощью технологии SyncE можно восстановить только частоту, но при этом она обладает высокой точностью, так как передача происходит на физическом уровне. Стандарт IEEE1588v2 подразумевает передачу частотной и фазовой информации, поэтому может подойти для систем LTE TDD и LTE Advanced, но передача пакетов IEEE 1588v2 происходит не на физическом уровне и поэтому сильно зависима от текущей загрузки сети.

Изначально LTE - пакетная технология, поэтому традиционные голосовые услуги с помощью коммутации каналов здесь отсутствуют. Поэтому для передачи голоса была разработана технология VoLTE (Voice over LTE), обеспечивающая передачу голосовой информации в пакетном виде через сеть LTE и использующая инфраструктуру IMS (IP Multimedia Subsystem). На случай, если внедрение VoLTE по каким-либо причинам невозможно, консорциум 3GPP разработал технологию CSFB (Circuit Switch FallBack), суть которой заключается в использовании существующих сетей 2G/3G при голосовом вызове. Но этот метод имеет недостаток в виде задержки, достигающей иногда до десятков секунд при переключении из сети LTE в сеть 2G/3G.

Модернизация ядра мобильной пакетной сети Mobile Packet Core

При миграции от 2G/3G сетей в сторону сетей LTE многие элементы пакетного ядра LTE выполняют функции, схожие с 2G/3G-сетями. Так, например, Serving Gateway (SGW) обрабатывает и маршрутизирует пакетные данные, поступающие от базовых станций по аналогии с Serving GPRS Support Node (SGSN). Он взаимодействует с SGSN для передачи соединения при ухудшении покрытия или перегрузках (рис. 1), а также выполняет роль узла управления мобильностью для пользовательских данных при handover между базовыми станциями eNodeB. Mobility Management Entity (MME) отвечает за плоскость управления, а именно: мобильность, handover, слежение за абонентским терминалом, а также выбор SGW и

аутентификацию пользователя при взаимодействии с Home Subscriber Server (HSS).

Packet Data Network Gateway (PDN GW) обеспечивает соединение от абонентского терминала к внешним пакетным сетям. Также он может являться шлюзом для не 3GPP-технологий, таких как Wi-Fi или WiMAX. Сервер Policy Charges and Rules Function (PCRF) управляет сервисными политиками и устанавливает политики QoS для абонентских сессий.

HSS - сервер, хранящий абонентские данные. Является объединением Home Location Register (HLR) и Authentication Center (AuC), уже присутствующих в сетях 2G/3G HLR хранит информацию об идентификации абонента и адресации (например, номер телефона), а также информацию по абонентскому профилю.

Если говорить об аппаратной составляющей этих элементов, то зачастую функции элементов SGSN, GGSN, MME, SGW и PDN GW могут выполняться одним или двумя маршрутизаторами (без учета резервирования и нагрузки на устройства).

2.6 Архитектура LTE

В параллель с радиодоступом LTE, опорные пакетные сети также эволюционируют к плоской архитектуре SAE. Эта новая архитектура разработана для оптимизации производительности, улучшения эффективности затрат и упрощения запуска услуг на базе IP для массового рынка.

На пользовательском уровне архитектуры SAE есть всего два базовых устройства: базовая станция LTE (eNodeB) и гейт SAE Gateway. Базовые станции LTE подключаются к опорной сети, используя интерфейс S1 - Core Network - RAN. Такая плоская архитектура сокращает число узлов, необходимых для обеспечения соединения.

Существующие системы 3GPP (GSM и WCDMA/HSPA) и 3GPP2 (CDMA2000 1xRTT, EV-DO) интегрированы в систему LTE за счет использования стандартизованных интерфейсов, обеспечивающих оптимизированную мобильность. Для систем 3GPP это означает наличие сигнального интерфейса между CDMA RAN и новой опорной сетью. Такая интеграция обеспечит поддержку, как двойных, так и одиночных радио хэндоверов, обеспечивая возможность плавной миграции к LTE. Управление сигнализацией, например, для обеспечения мобильности, поддерживается узлом управления мобильностью (Mobility Management Entity, MME), выделенным из гейта (Gateway). Это упрощает оптимизацию развертывания сети и обеспечивает возможность гибкого масштабирования ее емкости.

Сервер домашних абонентов (HSS) подключается к пакетной сети (Packet Core) за счет интерфейса, основанного на Diameter, а не на базе сигнализации SS7, которая использовалась в сетях GSM и WCDMA. Сигнализация сети для полицейского прослуживания и для биллинга (charging) также основана на Diameter. Это означает, что все интерфейсы архитектуры - это IT-интерфейсы.

Существующие системы GSM и WCDMA/HSPA интегрированы с системой LTE с помощью стандартизованных интерфейсов между SGSN и опорной сетью LTE. Как ожидается, попытка интегрировать CDMA доступ также приведет к обеспечению возможности поддержания мобильности между сетями CDMA и LTE. Такая интеграция также должна обеспечивать, как дуальный, так и одиночный handover вызовов, что обеспечивает гибкую возможность миграции из сетей CDMA в сети LTE. В LTE-SAE действует концепция QoS (качества услуги), основанная на понятии класса услуги. Это обеспечивает простое, но эффективное решение, позволяющее оператору предлагать дифференцировать предоставляемые пакетные услуги.

2.7 Радиотехнология OFDM

LTE использует OFDM для формирования нисходящего канала, т.е. канала от базовой станции к мобильному устройству. OFDM отвечает требованиям LTE к спектральной гибкости и позволяет создавать эффективные по затратам решения для широкополосных несущих с высокими пиковыми скоростями передачи данных. Это хорошо проработанная технология, о чем свидетельствует целый спектр стандартов, таких, как, например, IEEE 802.11a/b/g, 802.16, HIPERLAN-2, DVB и DAB. OFDM использует много узкополосных поднесущих для обеспечения передачи. Базовый нисходящий канал LTE на физическом уровне можно рассматривать, как частотно-временную решетку, как показано на рис.5. В частотной области, промежутки между поднесущими, дельта f , составляют 15 кГц. Кроме того, продолжительность "символа" OFDM составляет $1 / \text{дельта } f + \text{префикс цикличности}$. Префикс цикличности используется для обеспечения ортогональности между поднесущими даже в условиях радиоканала с дисперсией по времени.

Один ресурсный элемент формируется модуляцией QPSK, 16QAM или 64QAM. В случае, если используется модуляция 64QAM, каждый ресурсный элемент обеспечивает передачу 6 бит информации. Символы OFDM сгруппированы в ресурсные блоки. Ресурсные блоки имеют размер в 180 кГц в частотном измерении и 0.5 мс во временном измерении. Каждый временной интервал передачи (TTI, Transmission Time Interval) состоит из двух слотов (Tslot).

Каждому пользователю присваивается некоторое количество ресурсных блоков в частотно-временной решетке. Чем больше ресурсных блоков назначается пользователю, и чем более высокая степень модуляции используется в формировании ресурсных элементов, тем больший получается битрейт.

Какие ресурсные блоки будут назначены и сколько их получит пользователь в данный момент времени, зависит от модернизированного алгоритма составления частотно-временного расписания. Алгоритм составления расписания, используемый в LTE, похож на тот, что применяется в HSPA и обеспечивает оптимальное функционирование различных услуг в различных условиях. Физические ресурсы нисходящего канала LTE основаны на OFDM.

В восходящем канале, LTE использует пре-кодированную версию OFDM под названием SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access - множественный доступ с частотным разделением на базе одной несущей). Это предпринято для того, чтобы компенсировать расходы на OFDM, который отличается очень высоким отношением пиковой мощности к средней мощности радиосигнала (PARP - Peak to Average Power Ratio). Реализация высоких значений PARP требуют использования дорогих и неэффективных усилителей мощности, предъявляющих высокие требования к линейности, что сказывается на росте стоимости терминалов и скорости разряда батарей.

SC-FDMA позволяет решить проблему за счет объединения ресурсных блоков таким образом, что сокращаются требования к линейности, а также к потребляемой мощности усилителя. Меньшие значения PARP кроме того улучшают покрытие и производительность соты.

2.8 Частотные диапазоны для FDD и TDD

LTE может использоваться, как в парных (FDD), так и в непарных (TDD) участках спектра. FDD - обеспечивает большую эффективность и представляет больший потенциал использования устройств и инфраструктуры, тогда как TDD выполняет роль хорошего дополнения. Так как оборудование для LTE практически идентично для случаев FDD и TDD (кроме фильтров), операторы, которые начнут с построения сетей на TDD, смогут далее воспользоваться эффектом экономии на масштабе, который обеспечит широкое распространение продуктов FDD.

Сегодня все сотовые системы связи используют FDD, и более 90% частот, используемых системами мобильной связи во всем мире являются парными наборами полос частот. В случае с FDD, трафик вниз и вверх обеспечивается одновременно в различных частотных диапазонах. В системах TDD, передача в канале вверх и вниз не ведется непрерывно, что позволяет использовать для организации канала один и тот же частотный

диапазон. Например, если разделить время между передачей вверх и вниз в соотношении 1:1, то направление вверх будет использоваться лишь половину времени. Средняя мощность, для каждого сеанса связи, также оказывается равна половине пиковой мощности. Поскольку пиковая мощность ограничена регулятором, то в результате получается, что для той же пиковой мощности, TDD обеспечивает меньшее покрытие, нежели FDD. Более того, операторы зачастую хотели бы выделить более, чем половину своих ресурсов для организации канала вниз (чтобы повысить пиковую скорость в этом направлении). Если соотношение DL/UL равно 3:1, то для реализации сети TDD потребуется на 120% больше сайтов, против реализации сети FDD.

Различные соотношения DL/UL в TDD-канале. Сейчас 3GPP было выделено 10 различных диапазонов частот для построения систем LTE-FDD и 4 частотных диапазона для LTE-TDD, это отражено в таблицах. Скорее всего, этот перечень будет расширяться за счет добавления других частотных диапазонов, таких, например, как диапазон 700 МГц на территории США.

Полосы частот для LTE-FDD и LTE-TDD. Инфраструктура сети LTE и терминалы будут сразу поддерживать работу с множеством частотных диапазонов. LTE достаточно быстро сможет обеспечить возможность экономии на масштабах глобального покрытия. LTE поддерживает гибкий подход к ширине несущих, которые могут варьировать от менее, чем 5 МГц вплоть до 20 МГц во многих частотных диапазонах, причем, как при построении сети FDD, так и при TDD.

Оператор может разворачивать LTE-сеть в новых или в уже имеющихся частотных диапазонах.

Первыми могут быть диапазоны, где, в целом, легче будет найти несущие в 10 МГц или в 20 МГц (например, 2.6 ГГц (диапазон VII), AWS (диапазон IV) или диапазон 700 МГц), но, кроме того, LTE можно строить во всех сотовых диапазонах. В отличие от прежних систем сотовой связи, LTE будет быстро развернута в различных частотных диапазонах.

Ценовая эффективность. Существует большая поддержка LTE со стороны Mobile-индустрии. Многие поставщики, операторы и НИИ участвуют в стандартизации этой технологии.

Ключевой фактор успеха любой технологии - это экономия на масштабе. Преимущества, связанные с объемами, существенны, как для абонентских терминалов, так и для оборудования. Они сказываются на снижении затрат на производство и позволяют операторам предоставлять абонентам эффективные по цене услуги. Это одна из основных причин, которая привлекает к LTE тех операторов, которые только собираются выйти на рынок с собственной сетью мобильного ШПД.

Продвижение LTE на рынок будет осуществляться по разным сценариям, в зависимости от конкретных рыночных условий в той или иной стране, регуляторных особенностей. Первые устройства будут

мультимодовыми, что позволит говорить о широкой зоне покрытия, мобильности и услуг с первого дня запуска сети LTE. До внедрения LTE можно будет использовать существующие стандартные сети мобильной связи.

Важно, что внедрение инфраструктуры LTE очень простое и эффективно с точки зрения затрат. Например, возможно осуществить модернизацию существующих базовых станций радиоподсети под требования LTE, используя легко заменяемые модули, причем они смогут работать и с одним частотным диапазоном и с парными наборами частот. Отдельные базовые станции для LTE также будет проще установить, чем современное оборудование GSM/WCDMA. Запуск сети, ее эксплуатация и менеджмент могут быть упрощены за счет использования таких функций, как "включил и работает" и "авто-оптимизация", что позитивно сказывается на сокращении капитальных и операционных затрат оператора. Технология LTE целиком подходит под характеристику "технологий завтрашнего дня".

Быстрая скорость, устойчивость к помехам, масштабируемость, приспособленность к сложным условиям передачи сигнала, все это хорошо согласуется с современными требованиями к мультисервисным сетям. Готовность к использованию этой технологии подтверждают как операторы так и производители базовых станций.

LTE-сеть отвечает требованиям к сетям мобильной связи следующего поколения - как для существующих операторов 3GPP/3GPP2, так и для новых операторов. Данная технология позволит предоставлять более производительные услуги мобильного ШПД для очень большой аудитории, применяя комбинацию максимальных скоростей и большой пропускной мощности системы в любом направлении, причем с очень низким latency.

Инфраструктура LTE разработана так, что развертывание и эксплуатация будет более простой, с этой целью разработана более гибкая технология, способная работать в широком классе частотных диапазонов. LTE также имеет возможность масштабирования частотных диапазонов и поддерживает, как парные частотные диапазоны (для FDD), так и одиночные (для TDD). Архитектура LTE-SAE будет обеспечивать межсетевое взаимодействие с сетями GSM, WCDMA/HSPA, TD-SCDMA и CDMA.

3 Методология создания мультисервисных сетей класса wimax/lte

Рассмотрение методологии создания сетей класса WiMAX/LTE приобретает все большую актуальность в связи с одобрением ITU-T стандарта WiMAX для IMT-2000 и перспективами использования WiMAX 2.0 (IEEE 802.16m) в мобильных сетях LTE следующего поколения.

Трафик Интернет постоянно растет, возрастают и требования к качеству обслуживания. Простой доступ в Интернет и передача данных уже

не удовлетворяют пользователей. Необходимо гарантированное качество и универсальное обслуживание: высокая скорость доступа в Интернет и передачи данных, мультисервисность (наряду с данными передача голосовой и видеoinформации), мобильность (обслуживание не только фиксированных, но и «кочующих», и быстро движущихся абонентов).

Учитывая огромные территории Российской Федерации, все еще сохраняется информационное неравенство центра и регионов. Преодолению этого неравенства, обеспечению универсального обслуживания способствует создание сетей WiMAX и LTE.

В настоящее время за рубежом и в нашей стране разворачиваются сети WiMAX: создаются малые, городские, региональные и корпоративные сети широкополосного доступа, использующие технологию WiMAX, крупные операторские сети мобильного и фиксированного WiMAX, на подходе создание сетей LTE.

Сети класса WiMAX/LTE являются сложными системами: их разработка требует высокой квалификации, но создаются они, как правило, эмпирически. Поэтому необходима определенная методология, а именно: модели, методы, методики, средства разработки, оценки, обоснованного выбора параметров систем.

Стандарты определяют несколько профилей, а поскольку оборудование выпускается множеством компаний, оно может иметь разные характеристики. Выбор моделей оборудования WiMAX/LTE уже является нетривиальной задачей. Поэтому приходится учитывать множество факторов, таких как:

- выделенный (или доступный) частотный ресурс;
- топология сети (в том числе распределение абонентов);
- качество обслуживания (лимитированные скорости, виды услуг, приоритеты);
- бюджетные ограничения на создание сети.

В данной работе рассматривается методология, которая основывается на практическом опыте автора в создании первых сетей широкополосного беспроводного доступа класса WiMAX. Первая такая сеть была спроектирована и введена в эксплуатацию в августе 2000 года в диапазоне 2,5-2,7 и 2,3-2,4 ГГц. С тех пор предложенная методология использована для системной интеграции более десятка сетей класса WiMAX, устойчиво работающих по настоящее время.

При создании сети WiMAX/LTE решается несколько основных задач (см. рисунок 3.1):

- сбор исходных данных;
- выбор оборудования, определение топологии, структуры сети;
- расчет радиопокрытия, выбор ресурсов, оценка бюджета сети;
- разработка сценария развертывания, бизнес-плана, оценка производительности.

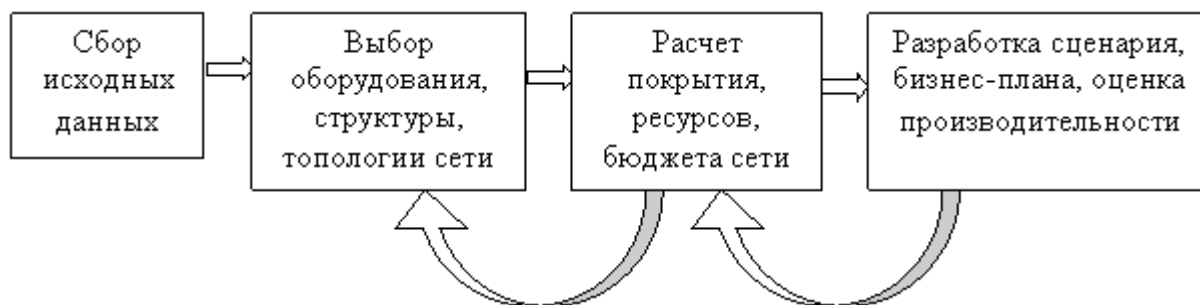


Рисунок 3.1 - Задачи, решаемые при создании сети WiMAX/LTE

Перечисленные задачи взаимосвязаны:

- если меняются оборудование, структура, топология сети, меняются радиопокрытие, ресурсы, бюджет;
- если меняется сценарий, меняются бизнес-план, производительность сети по мере ее развертывания.

Поэтому поставленные задачи решаются итерационно.

Но первостепенной и немаловажной задачей при создании WiMAX/LTE является сбор исходных данных о создаваемой радиосети. Сбор исходных данных выполняется по самостоятельной методике и включает:

- виды предоставляемых услуг (данные, голос, видео);
- карту покрываемой территории, плотность и распределение абонентов;
- количество абонентов (фиксированных, пеших, мобильных, по видам услуг);
- присутствие конкурирующих технологий доступа (xDSL, MetroEthernet, оптика, уличный Wi-Fi), процент их проникновения на рынок.

При выборе оборудования WiMAX/LTE учитываются его основные технические характеристики и стоимость, то есть его эффективность – отношение «цена/качество».

К основным техническим характеристикам WiMAX/LTE, которые необходимо учитывать в первую очередь, относятся:

- ширина радиоканалов и частотные диапазоны;
- чувствительность и мощность приемопередатчиков;
- особенности реализации радиотрактов: количество фидеров, антенн, параллельных радиоканалов, направленное формирование лучей.

Ширина радиоканалов, отношение сигнал/шум согласно пределу Шеннона лимитируют предельную пропускную способность радиооборудования.

Характеристики приемопередатчиков и радиотрактов определяют дальность передачи. При этом используются программы, которые по модели затухания радиоволн позволяют рассчитать дальность и скорость передачи в

зависимости от технических характеристик WiMAX/LTE оборудования, координат базовой и абонентской станций.

При выборе оборудования WiMAX/LTE принимаются во внимание также характеристики базовых станций (БС):

- количество радиоканалов (возможности по масштабированию, резервированию, горячей замене блоков);

- конструктивное исполнение БС (внешнее, внутреннее, смешанное).

Поскольку WiMAX строится по сотовому принципу, обслуживаемая территория покрывается сетью базовых станций, связанных опорной сетью.

Максимально разрешенный радиус сот в километрах определяется категорией местности по максимальной численности населения города на обслуживаемой территории.

Имеется 4 категории территорий и городов по численности населения:

- 1-я категория (свыше 1 млн жителей) - максимальный радиус сот 3 км;

- 2-я категория (от 250 тыс. до 1 млн жителей) - радиус сот 6 км;

- 3-я категория (от 100 до 250 тыс. жителей) - радиус 10 км;

- 4-я категория (менее 100 тыс. жителей) - радиус 20 км.

Пропускная способность сектора базовой станции определяется шириной и количеством радиоканалов в секторе, которая должна быть достаточна для обслуживания определенного количества пользователей, находящихся на конкретной площади сектора на заданном удалении от базовой станции. Поэтому реальный радиус и структура соты (секторизация базовой станции) выбираются исходя из плотности абонентов, условий их обслуживания (необходимой скорости, активности, отсутствия/наличия прямой видимости).

При проектировании оценивается количество секторов в зависимости от диаграмм направленности, усиления антенн. В результате структура соты - это, как правило, круг, треугольник, квадрат или шестиугольник. Наряду с выбором структуры сот осуществляется привязка антенн базовых станций к существующим зданиям и сооружениям, оценивается покрытие. Таким образом, после разбиения на соты, определяются координаты и высоты подвеса антенн базовых станций.

По координатам базовой станции и абонентских станций рассчитываются профили радиолиний, дальности, необходимое усиление абонентских антенн, высота их подвеса, максимальная скорость передачи.

С использованием модели системы массового обслуживания с конечным числом пользователей, находится максимально возможная (гарантированная) скорость передачи информации между БС и АС.

Для оценки радиопокрытия используется программное моделирование или натурное радиопланирование. При натурном радиопланировании проводятся базовые измерения в критически проблемных точках на

местности. Для программного моделирования используются электронные карты местности, имеющие разное разрешение:

- низкое (100-200м);
- среднее (20-30м);
- высокое (≤ 5 м).

Оптимальное разрешение в диапазоне частот от 30 МГц до 3 ГГц составляет $\sim 50\lambda$, где λ – длина радиоволны. Как правило, электронные карты высокого разрешения обычно имеют дискретность 2 м, в том числе учитывают:

- застройку и габариты зданий;
- рельеф и высоты местности;
- растительность, свойства поверхности.

На электронной карте высокого разрешения численность населения, определяющая потенциальное число абонентов, учитывается с точностью до каждого дома. При этом учитывается материал зданий, сооружений (бетон, кирпич, металл), тип растительности (деревья, кустарники, их высота), свойства поверхности (грунт, дорога, водная гладь).

Также задается и используется топология сети:

- местоположение базовых станций;
- координаты абонентских станций.

Для расчета покрытия при моделировании на электронной карте местности используются координаты абонентских станций, местоположение и параметры базовых станций.

При расчете покрытия определяются уровни полезных радиосигналов, интерференция, запас на замирания, отношение сигнал/шум на определенной дальности. Отношение сигнал/шум используется для оценки качества обслуживания пользователей (расчета максимальной скорости и временной задержки при передаче информации).

Зная радиопокрытие и структуру сети WiMAX/LTE, можно предварительно определить бюджет. Если бюджет не удовлетворительный, выполняется другая итерация:

- изменяется структура и топология сети;
- задается другой ценовой диапазон: выбираются другие модели оборудования или другой производитель.

Если результат удовлетворительный, переходят к следующему этапу разработки и создания сети WiMAX/LTE.

При развертывании сети класса WiMAX/LTE используются различные сценарии. Выбранный сценарий задает последовательность установки, дискретность наращивания, количество, параметры сетевых элементов WiMAX/LTE:

- секторов и базовых станций (БС) системы;
- прямых и обратных каналов БС;
- каналов опорной сети.

Под сценарием развертывания сети WiMAX подразумевается выбор конкретной последовательности установки сетевых элементов: базовых станций, их секторов, каналов БС и каналов опорной сети. Отдельные этапы сценария развертывания сетевых элементов WiMAX определяют изменение производительности {БС} и сети в целом.

Поскольку возможны разные последовательности развертывания элементов сети, {БС}, опорной сети, предлагается следующая обобщенная методика генерации сценариев:

1) покрываемая местность разбивается на макросоты (кластеры), например, предельного размера (радиуса) для соответствующей категории местности;

2) при разбиении рассчитываются координаты и параметры {БС}: усиление и высота подвеса антенны при заданной мощности, структуре БС и дальности (например, на начальном этапе выбираются не секторные антенны, а с круговой диаграммой);

3) по мере роста числа подключенных абонентов необходимо наращивать пропускную способность сети как системы массового обслуживания. Для этого производится замена круговых антенн секторными, что пропорционально увеличивает количество секторов (каналов) БС (как правило, до 3, 4, 6 и т.д.), возрастает пропускная способность системы, увеличивается производительность, уменьшаются временные задержки при обслуживании транзакций. Тем самым увеличивается количество обслуживаемых одновременно пользователей сети (активных абонентов);

4) далее увеличивают плотность размещения БС (их количество на единицу площади), а именно: устанавливают дополнительные БС, причем соты (кластеры) с большим радиусом (дальностью) обслуживания разбиваются на соты с меньшим радиусом, для которых так же используется подход, описанный пп. 2 и 3;

5) процедура повторяется итерационно до тех пор, пока не будет достигнута заданная производительность по обслуживанию пользователей на покрываемой территории, которая соответствует характерной для нее плотности абонентов, количеству предоставляемых услуг, числу пользователей.

В зависимости от выбранной последовательности, этапности, дискретности добавления элементов сети (узлов, секторов, радиоканалов) получаем конкретный сценарий развертывания сети WiMAX/LTE. При этом сеть в целом и БС на отдельных этапах развертывания имеют фиксированную структуру, обладая определенной производительностью, которая зависит от выбранных параметров БС и каналов сети. При изменении структуры необходимо оперативно рассчитывать и оценивать ее производительность.

Производительность БС должна быть достаточна для охвата определенного числа абонентов и предоставления заданного объема услуг на

обслуживаемой территории. Для расчета параметров БС, оценки производительности, в том числе сети WiMAX/LTE в целом используются математические модели и методы, разработанные для систем обмена мультисервисной информацией (МСОИ).

Сеть класса WiMAX/LTE, как система типа МСОИ, используется для передачи как минимум двух видов информации. Это могут либо быть данные и голос, либо данные и видео, либо данные, голос и видео услуги одновременно. Возможны другие комбинации услуг, например, видеонаблюдение, сбор телеметрии, потоковое видео и т.д. Каждая услуга имеет свои характеристики входящего/исходящего трафика, создавая определенную нагрузку на узлы сети.

В соответствии с принципами независимости и разделения сервисных потоков расчет параметров нагрузки может выполняться отдельно для каждой услуги.

Поскольку время обслуживания в узле и время передачи в канале пропорционально длинам пакетов, каждый пакет может рассматриваться как запрос. И поэтому в качестве модели нагрузки выбрана ступенчатая функция, имеющая только два состояния (есть пакет и нет пакета) и характеризующаяся интенсивностью γ по входу/выходу сети, длиной b пакетов, периодом T_s их следования, активностью услуги или пользователя.

С другой стороны, собственно объект WiMAX типа МСОИ как модель – это сеть очередей и систем массового обслуживания, состоящая, как минимум, из двух типов активных сетевых элементов (базовых и абонентских станций, узлов) и, как минимум, из двух типов пассивных сетевых элементов (каналов БС и опорных каналов).

Узлы в зависимости от типа, состава, структуры имеют различные интенсивности μ обслуживания пакетов.

Интенсивность обслуживания μ зависит от длины пакетов b и, как правило, не известна, но может быть определена по специальной методике.

Пассивные сетевые элементы (каналы) – это направленные каналы, отличающиеся пропускной способностью C_k (Мбит/с) в зависимости от ширины H_k канала (МГц):

$$C_k = H_k I_m (1 - \alpha), \quad (1)$$

где I_m – информативность вида модуляции (бит/Гц);

α – защитный интервал между смежными каналами.

Для расчета и оценки производительности базовых станций WiMAX, как моделей систем с конечным числом источников нагрузки N на входе, используются соотношения Шерра:

$$T_0 = (N/\mu)/(1 - p_0) - 1/\lambda, \quad (2)$$

где T_0 – среднее время ответа, или время, проведенное пакетом (запросом) в узле (или системе);

μ, λ – интенсивности обслуживания и трафика нагрузки соответственно;

p_0 – вероятность того, что в системе нет требований:

$$p_0 = 1 / \sum_{i=0}^N [M/(N-i)!](\lambda/\mu)^i, \quad (3)$$

$$N_n = \mu/\lambda + 1, \quad (4)$$

где N_n – предельное количество источников нагрузки или пользователей, находящихся в очереди и на обслуживании.

Как правило, интенсивность m обработки трафика в узлах WiMAX - величина неизвестная. Методика получения интенсивностей m обработки трафика узлами основывается на следующей методике:

1) собирается схема, приведенная на рисунке 3.2, которая состоит из 1-канальной базовой станции и одной или нескольких абонентских станций;

2) к базовой станции и абонентским станциям подключаются компьютеры со специальными тестирующими программами;

3) варьируется ширина H_k канала, модуляция M_k , скорость V_k кодирования, длина b пакетов, интенсивность $\gamma = \lambda/n(1+o)$, имитирующая нагрузку, где o - коэффициент, учитывающий оверхед (избыточность), n - количество одновременных потоков;

4) выполняется необходимое количество измерений, обеспечивающих требуемую точность и достоверность результата;

5) фиксируются значения $\{m_i\}$ в зависимости от длины $\{b\}$ пакетов, интенсивности $\{\gamma, l\}$ нагрузки, направления передачи.

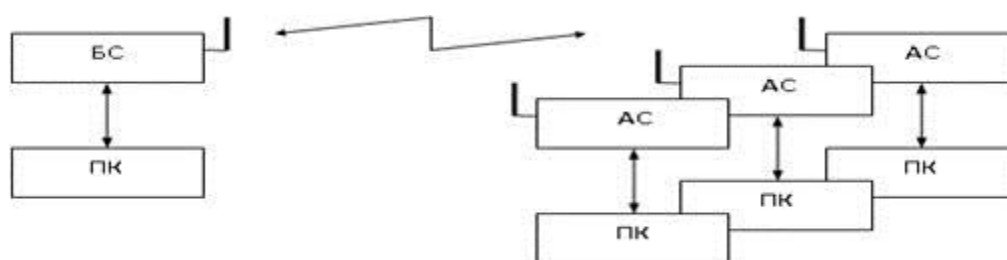


Рисунок 3.2 - Схема измерений временных параметров базовых элементов МСОИ

Используя рассчитанные значения интенсивностей μ и λ , ограничения канала C_k по пропускной способности и предельной задержке T_0 , с учетом структуры базовой станции, рассчитываются и оцениваются основные параметры производительности N и T_0 узлов WiMAX/LTE.

Производительность сетевого элемента или канала системы определяется как количество n_a активных (обслуживаемых) пользователей или предоставляемых одновременно услуг за определенный временной период T .

Второй параметр производительности, временная задержка τ , определяется (2) при конкретных значениях параметра производительности N и временном ограничении T_0 .

Максимальным ограничением является предельное время T_n обслуживания (задержки) пакетов/запросов.

Нагрузка характеризуется интенсивностью γ внешнего трафика, поступающего в систему или сеть в единицу времени.

Интенсивность λ внутреннего трафика сети больше интенсивности γ внешнего трафика ($\lambda > \gamma$), поскольку пакеты/запросы могут проходить несколько узлов.

Среднее количество узлов q , посещаемых пакетами, характеризует маршрут, или его контур.

Поэтому интенсивность нагрузки $\lambda = q\gamma$, определяет интенсивность трафика нагрузки внутри сети, а коэффициент загрузки ρ элементов, каналов, базовых станций WiMAX/LTE, определяется стандартной формулой $\rho = \lambda/\mu$, или $\rho = q\gamma/\mu$.

Предельная производительность N_n характеризует максимальные возможности системы за определенный временной период T . Для расчета и оценки производительности $W(N,t)$ сети WiMAX используется методика, базирующаяся на расчетных соотношениях математической модели сети типа МСОИ.

Определяющим параметром роизводительности $W(N,t)$ МСОИ является

суммарное число $N_a = \sum_{n_a \in S} n_a$ активных абонентов, обслуживаемых БС сети S .

При этом учитывается ограничение на временную задержку $t < T_0$ обслуживания пакетов/запросов или транзакций.

Результатами расчета $W(N,t)$ производительности по предложенным методикам является оценка числа n пакетов и задержки t при обработке пакетов в контурах (без учета нахождения пакетов в очередях). При этом рассчитывается необходимая пропускная способность C и число K обслуживающих каналов WiMAX/LTE как системы МСОИ.

Сначала на основании исходных данных задаются начальные условия и рассчитываются пропорции нагрузки между $n_i:n_v:n_d$ для некоторого условного канала.

Затем производятся вычисления ресурсно-временных затрат на передачу пакетов голосового трафика для этого канала с учетом физического, канального и IP уровней.

Вычисляется интенсивность l_t пакетов телефонии на МАС-уровне.

Далее определяется число n_t пакетов, которые передаются одновременно при условной загрузке b_t в этом канале. Находится интенсивность C_t обслуживания, затрачиваемая на передачу n_t пакетов телефонии.

Аналогично находится число n_t "одновременных" (активных) телефонных разговоров, аудио/видео сессий n_v (прослушиваний, просмотров контента), активных пользователей Интернет n_d при рабочей нагрузке на систему WiMAX/LTE типа МСОИ.

Расчетные значения пиковой производительности МСОИ определяются как максимальная при пиковой нагрузке без учета ограничений на временные задержки.

Предельная производительность системы обмена находится при коэффициенте загрузки ρ одного или нескольких узлов или каналов, приближающемся к 1 и при ограничении на временную задержку.

Определяются интенсивности C_v, C_d . Рассчитывается доля пропускной способности C_{v+d} канала на передачу аудио/видео информации и обмен данными. Находится число n_v пакетов, которые могут быть переданы одновременно при условной загрузке b_v в рассматриваемом канале. Аналогично определяются значения n_v, b_v .

Основным параметром системы является ее временная задержка t обработки (и/или передачи) информации, причем без учета нахождения в очередях. Задержка t определяет параметры производительности МСОИ: рабочую, пиковую и предельную.

Полученные результаты расчета параметров производительности, используются так же для оценки стоимости базовой инфраструктуры сети WiMAX/LTE.

В работе разработан алгоритм расчета стоимости $D(S)$ сети класса МСОИ. Расчет выполняется с учетом структуры S , изменяющейся в соответствии со сценарием развертывания {БС}, их преобразованием в структуру S' , удовлетворяющую ограничению:

$$|B-D(S')| \leq e, \quad (5)$$

где B – бюджет;

D – стоимость варианта структуры;

S' ; e – требуемая точность.

Задержка t обработки информации может быть снижена за счет уменьшения длины b пакетов. Однако при этом увеличиваются удельный вес накладных расходов, связанный с передачей служебной информации, в результате снижается интенсивность m обслуживания трафика. Длинные пакеты b , напротив, увеличивают задержку t обработки других пакетов. Поэтому максимальная задержка t_{max} обслуживания пакетов может быть

превышена и превышено допустимое время T_o отклика (ответа, реакции) системы.

Анализ параметров и выбор результатов расчета по выбранному варианту структуры S' осуществляется по максимуму производительности $\max W(N,t)$ и минимуму задержки t_{min} . Чем выше коэффициент загрузки системы ρ , тем производительность $W(N,t)$ ближе к предельной N_n , но тем выше и временные задержки τ . Они возрастают и могут превысить предельную величину $\tau > T_n$.

По общей пропускной способности C , ширине H полосы радиочастот определяется количество K_n, K_o прямых и обратных каналов, необходимых для квазидновременной передачи пакетов через систему обмена WiMAX/LTE типа МСОИ.

Производится перерасчет функциональных ресурсно-временных параметров производительности, находятся фактические значения:

количество $N = \sum_q' |_{q=U(d,t,v)}$ обслуживаемых абонентов и задержки $\Theta = \sum_q' \tau_q'$ пакетов/запросов или транзакций в сети.

Структура оборудования WiMAX/LTE типа МСОИ определяет количество необходимых аппаратных элементов системы в зависимости от их исполнения:

- количество периферийных узлов (абонентских модемов, или абонентских станций);
- число канальных интерфейсных карт БС (станций);
- количество вспомогательных канальных элементов (антенн, кабелей или фидеров).

Для различных вариантов структуры рассчитывается стоимость оборудования (капитальные затраты, CAPEX), оцениваются параметры производительности и сравниваются показатели стоимость/производительность полученных вариантов. В целом минимизация стоимости сети WiMAX/LTE типа МСОИ выполняется путем оценки стоимости оборудования в зависимости от вариантов структурного построения S_c каналообразующего и распределительного оборудования системы.

4 Исследование режимов передачи мультисервисной сети технологии LTE 4G

В LTE-сети можно будет находиться не только с помощью мобильного телефона, но также с помощью компьютера, нетбука, ноутбука, камеры, телевизора, смартфона, планшета и других устройств, сориентированных на мобильный ШПД.

На данный момент АО «Казахтелеком» в сотрудничестве с АО «Алтел» проводят тестирование технологии LTE 4G. В данной работе будет

рассмотрена возможность работы оборудования не только в режиме передачи данных, но и передачи видео и голоса.

Для исследования данных режимов создадим домашнюю сеть с тремя пользователями. Каждый из них будет использовать одну из услуг: Интернет, IP-телевидение и IP-телефонию. Для проведения эксперимента нам понадобится следующее оборудование:

- Беспроводной роутер Huawei E5776
- Ноутбук Lenovo G570
- Планшет Samsung Galaxy Tab 3
- IP-телефон Escence WS220-N

Кратко рассмотрим каждое из этих устройств.

Беспроводной роутер Huawei E5776

Модель Huawei E5776 предлагается на рынке в нескольких модификациях, которые могут отличаться поддерживаемыми диапазонами сотового модуля. Рассматриваемая модификация роутера поддерживает работу в сетях 2G (GSM 850, 900, 1800, 1900 МГц), 3G (UMTS 900, 2100 МГц), 4G (LTE FDD 1800/2600 МГц, TDD 2300 МГц) с поддержкой технологий GPRS, EDGE, HSPA, HSPA+, DC-HSPA+ и LTE Cat4 FDD/TDD. При этом максимальная скорость получения данных для 3G составляет 43,2 Мбит/с, а для 4G — 150 Мбит/с (FDD). Отметим, что есть совместимость с существующими отечественными сетями LTE в диапазоне 7. Блокировки на оператора в данной модели нет, можно использовать SIM-карты любого провайдера. Клиенты соединяются с роутером по Wi-Fi 802.11b/g/n, который работает в диапазоне 2,4 ГГц с максимальной скоростью подключения 300 Мбит/с. С персональными компьютерами и ноутбуками можно использовать также проводное подключение через порт Micro-USB, которое реализует режим работы сетевой карты (NDIS). Поддержка драйверами есть для операционных систем Windows от XP SP3 до 8 и Mac OS 10.5-10.8. При работе по Wi-Fi, конечно, не требуются никакие драйвера, а совместимость не зависит от операционной системы на клиенте.

Этот же порт USB используется для зарядки встроенной несъемной батареи, которая, по данным производителя, имеет внушительную емкость 3000 мА·ч. В спецификациях указана длительность работы в 10 часов и нахождение в режиме ожидания до 500 часов.

На роутере есть слот для карт памяти microSD. Доступ к данным обеспечивается через браузер или в режиме USB-накопителя при подключении по кабелю.

Тестирование проводилось с прошивкой версии 21.202.19.01.778. Обновление возможно в полуавтоматическом режиме через интернет.

Начало работы

Как и у других аналогичных устройств, начать работать с роутером очень просто - устанавливаете SIM-карту (формата Mini-SIM), заряжаете батарею или подключаете блок питания, включаете питание. Через пару

десятков секунд можно проверить статус соединения с сетью провайдера и в случае успеха, подключать беспроводных клиентов к защищенной сети роутера с использованием WPS или вводом пароля (он индивидуальный для каждого устройства и указан на дне корпуса). Отметим, что по спецификациям роутер поддерживает работу до 10 клиентов.

Для оконечных устройств можно выбрать любые с поддержкой сети Wi-Fi.

Lenovo G570 - это доступный ноутбук с производительностью дорогого аппарата. Он оснащен процессором Intel Core второго поколения и имеет программу сертификации Enhanced Experience для операционной системы Windows 7. Одним из ключевых достоинств продуктов Lenovo с сертификатом Enhanced Experience является тонкая настройка производительности системы для достижения максимальной эффективности. Лэптоп имеет привлекательный дизайн, продуманную эргономику и снабжен огромным набором полезных функций и технологий. С Lenovo G570 комфортно как работать, так и отдыхать.

Этот ноутбук может быть укомплектован процессорами Intel Core i3/i5/i7 второго поколения, поставляться с операционными системами Windows 7 Professional, Windows 7 Home Basic, Windows 7 Home Premium и иметь до 8 Гб оперативной памяти DDR3. Информация сможет храниться на жестких дисках, объемом 250 Гб/320 Гб/500 Гб/640 Гб/750 Гб (скорость вращения шпинделя 5400 об/мин) или 320 Гб/500 Гб (скорость вращения шпинделя 7200 об/мин).

Так, модель Lenovo G570 (59064763) оборудована процессором Intel Core i3-2310M с частотой 2.1 ГГц. Это двухъядерный CPU, основанный на архитектуре Sandy Bridge. Он поддерживает технологию многопоточности Hyperthreading, имеет 3 Мб кэш-памяти третьего уровня. Новый i3-2310M оснащается встроенной графической картой Intel HD Graphics 3000. Этот адаптер быстрее, чем Intel HD Graphics, встроенный в чипы Arrandale. Кроме того, процессор имеет улучшенный двухканальный контроллер памяти DDR3.

Графикой в ноутбуке занимается дискретная видеокарта AMD Radeon HD 6370M с объемом видеопамати 1 Гб. Адаптер поддерживает DirectX 11, Shader 5.0 и оснащается видеodeкодером UVD 2.2.

В данной комплектации предусмотрено 3072 Мб оперативной памяти DDR3. Впрочем, этот объем можно увеличить до 8 Гб. Информация будет храниться на жестком диске, емкостью 320 Гб (5400 об/мин).

IP-телефон Escence WS220-N, открывающий новые возможности по использованию VoIP, недоступные ранее в стационарных IP-телефонах при сравнительно небольшой стоимости телефона такого класса.

Аппарат идентичен популярной модели серии корпоративных телефонов Escene ES220, но имеет ключевую особенность – наличие беспроводного сетевого интерфейса IEEE 802.11 b/g/n.

Подключение телефона к сети по Wi-Fi существенно повышает гибкость подключения – увеличивается мобильность и простота развертывания телефонии. Используя беспроводные телефоны легко организовать рабочее место без проводов, можно привести массу примеров, где подключение телефонов и рабочих мест по беспроводной сети является если не единственным выходом, то крайне желательным вариантом. Например, строительство ЛВС (локальной вычислительной сети) невозможно или нежелательно, по экономическим соображениям или уже существует локальная сеть. Так же хорошим примером является необходимость в высокой мобильности и скорости развертывания сети до рабочего состояния. Так же, беспроводное подключение рабочего места может быть, кстати по эстетическим соображениям, например, минимум проводов и предметов на рабочем месте. При проведении мероприятий ограниченных по времени проще, быстрее и удобнее развернуть беспроводную сеть. Если сотрудники часто переезжают из офиса в офис, перевозить «сеть с собой» так же просто используя беспроводные телефоны. Всё более распространенным явлением становится работа на дому: многим для полноценной работы достаточно ноутбука и IP телефона, подключенного к сети. Тут-то и возникает проблема: если все ноутбуки давно подключаются по Wi-Fi, то необходимость тянуть провод от роутера, висящего в прихожей под потолком, до кухни, становится проблемой. Тут-то и выручает стационарный Wi-Fi IP телефон.

Конечно, на рынке существуют беспроводные решения - VoIP-DECT телефоны, но они менее удобны для работы на стационарном рабочем месте, и предназначены для сотрудников которые большую часть времени перемещаются, например, по территории предприятия. Используя Wi-Fi IP-телефон, к сети можно подключить любой компьютер, без прокладки кабелей на рабочее место.

Стационарное рабочее место - на таком месте компьютер (десктоп или ноутбук) не имеет беспроводной интерфейс (Wi-Fi адаптер), тогда сетевой кабель Ethernet подключается к компьютеру, с другой стороны в PC порт беспроводного IP телефона, далее телефон подключается по Wi-Fi к маршрутизатору или точке доступа.

Мобильное рабочее место - все устройства на таком месте имеют беспроводные интерфейсы: компьютер (десктоп или ноутбук) и беспроводной IP телефон подключаются по Wi-Fi к маршрутизатору или точке доступа.

В качестве IP-АТС может быть использована или собственная АТС или сервис, предоставляемый провайдером.

IP-АТС компании - программная или программно-аппаратная платформа находящаяся в офисе компании (например, Asterisk, 3CX и т.д.) Облачная IP-АТС - платформа, находящаяся у сервис-провайдера. Телефон Escene WS220-N обладает привлекательным внешним видом и

широким набором дополнительных функций, при этом продукт сохраняет привлекательную цену. При разработке телефонов, инженеры и дизайнеры компании Escence использовали единый подход к дизайну, функциональным характеристикам, а так же к интерфейсам управления. Линейка включает две модели — базовую и продвинутую, но их объединяют схожие черты - они отвечают высоким требованиям и обладают всеми необходимыми функциями IP телефонов корпоративного уровня.

Телефон Escence WS220-N является базовой моделью и ориентирован на корпоративных потребителей, которые предъявляют высокие требования к внешнему виду телефонов, качеству изготовления и удобству использования при сохранении разумной стоимости.

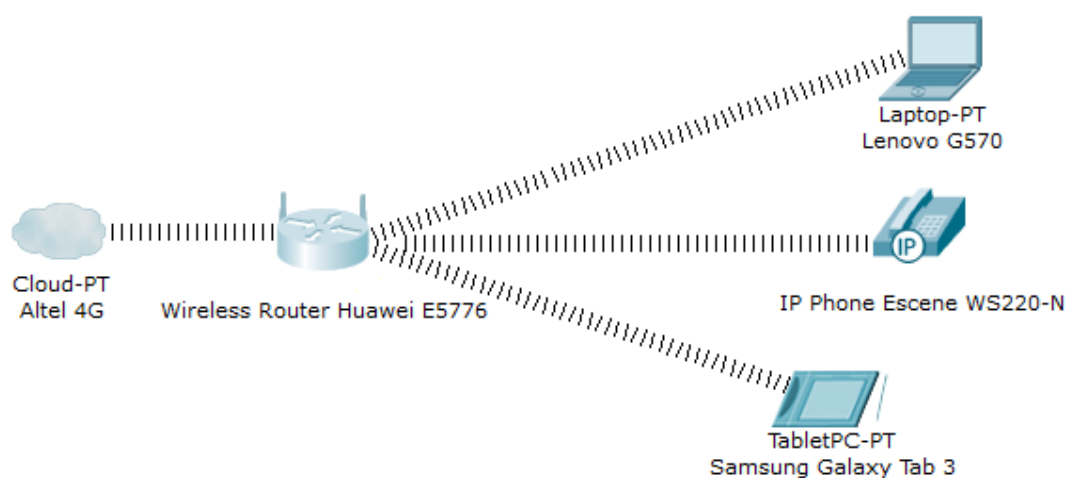


Рисунок 4.1 – Схема подключения радиоканала

К роутеру подключим ноутбук для замера мощности сигнала. На каждом из оконечных устройств установим программу CommView (анализатор сигнала беспроводных сетей), на телефоне установить программу не получится, поэтому качество принимаемого сигнала будем проверять по отсутствию помех и прерываний разговора. Каждый пользователь использует свой тип услуги. Замерим мощность сигнала, количество полученных пакетов на каждом устройстве.

При обработке данных получены следующие графики:

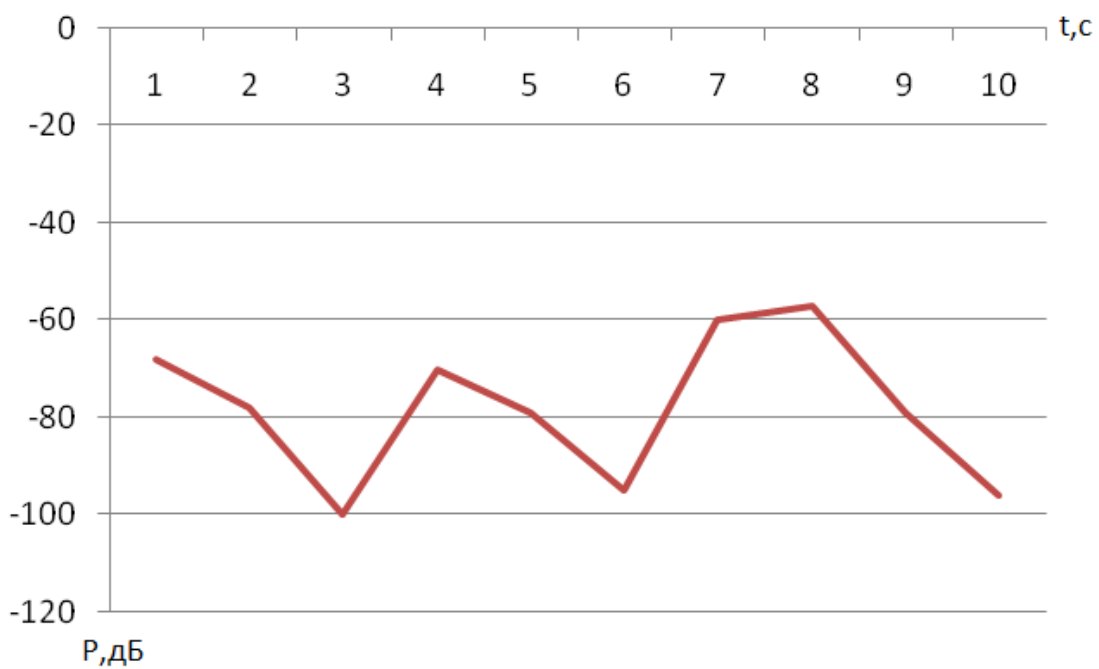


Рисунок 4.2 – Зависимость $R_{vх}$ от времени t

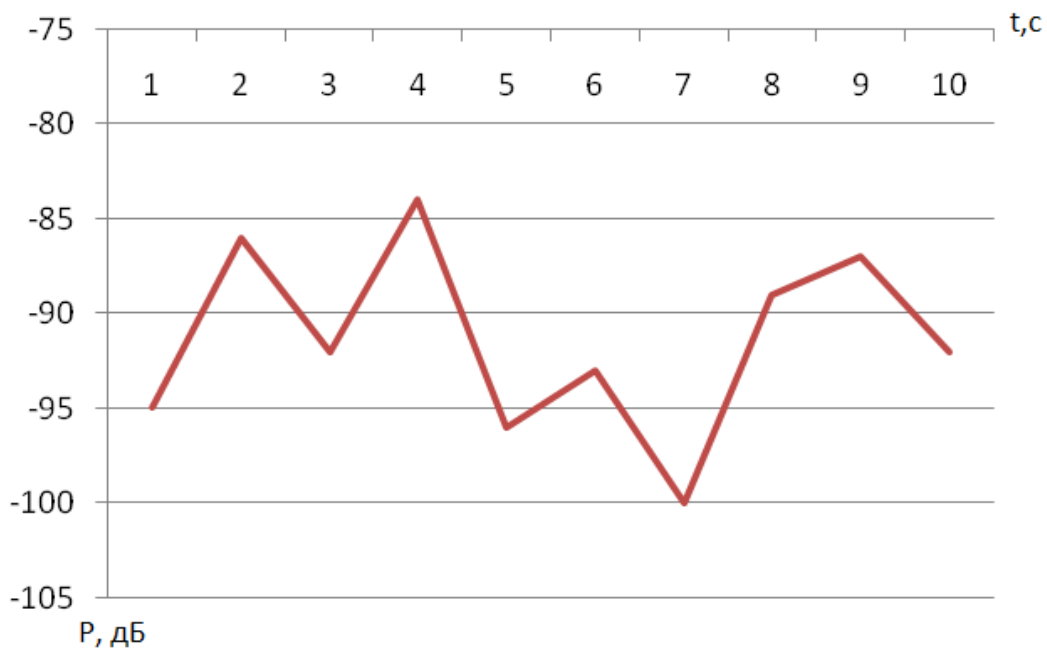


Рисунок 4.3 – Зависимость $R_{вых}$ от времени t



Рисунок 4.4 – Зависимость количества полученных пакетов на входе от времени t



Рисунок 4.5 - Зависимость количества полученных пакетов на выходе от времени t

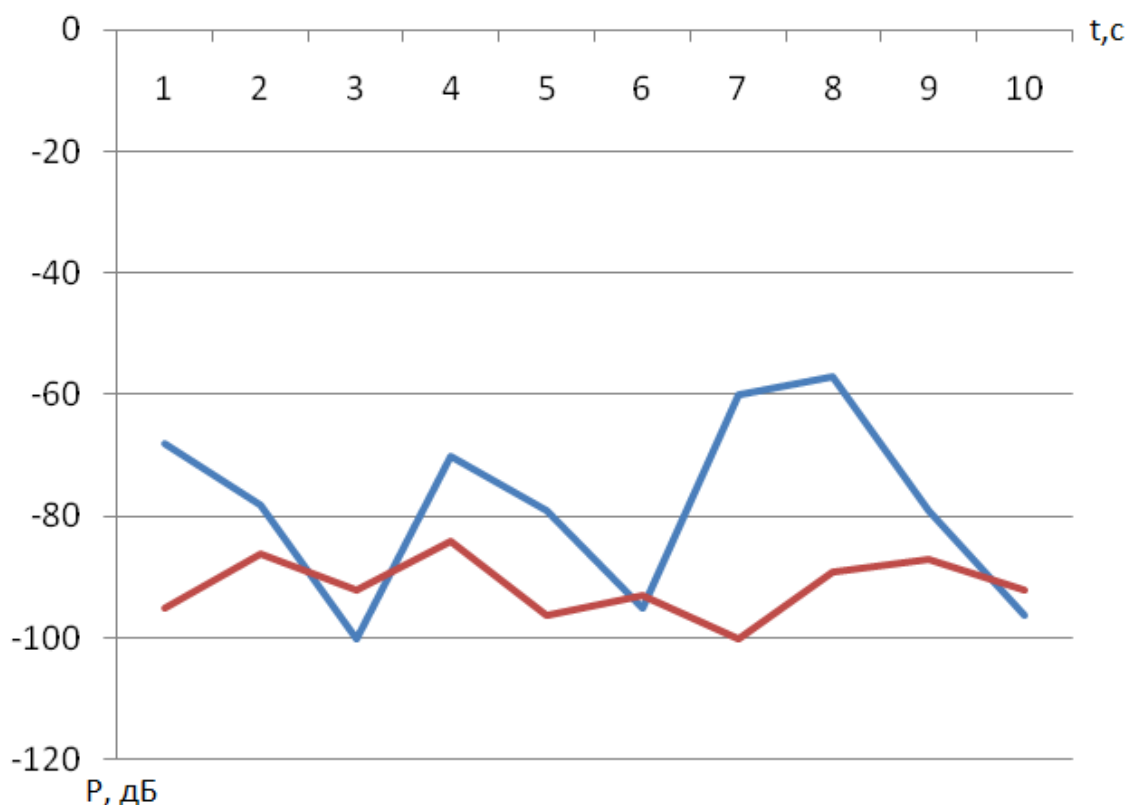


Рисунок 4.6 – Сравнение входной и выходной мощности в момент времени t

По приведенным выше графикам, можно сделать вывод, что несмотря на то, что мощность приема сигнала на конечном устройстве ниже, чем на приемном, данный факт никак не влияет на количество полученных пакетов, то есть услуга работает без прерываний и перебоев. Следовательно технология LTE 4G позволяет не только предоставить доступ в Интернет одному устройству, но и создать целую сеть с одной точкой доступа. Данный факт позволит пользователям экономить свое время и деньги, а также предоставит высокоскоростной доступ к мультисервисным сетям.

5 Расчет дальности действия сети

Для планирования сетей LTE выпускаются дорогое и сложное программное обеспечение, но вероятно, что инженеры, студенты или продвинутые пользователи будут заинтересованы в простом инструменте для оценки пропускной способности и дальности действия базовой станции сети LTE. Для этой цели был разработан программный инструмент на основе листа Microsoft Excel который способен рассчитать дальность действия и пропускную способность выраженную в мегабитах в секунду на основе введенных параметров сети и оборудования. Максимальные и минимальные значения для параметров представлены.

Для оценки дальности действия сети необходимо составить бюджет мощности. К основным статьям мощностного бюджета следует отнести мощность передатчика базовой станции (данная цифра ограничена стандартами 3GPP) и усиление антенны, как зависимость ее направленности. Здесь следует отметить, что в сетях LTE планируется использование адаптивных антенных решеток с возможностью фокусирования луча на оборудование пользователя. Такие антенны способны определить направление прихода сигнала и сформировать узкий пучок по этому направлению, что позволит сильно снизить интерференцию и как следствие получить значительное усиление сигнала. Сумма мощности передатчика и усиления антенны, из которой вычтены потери в кабелях и разъемах носит название эффективная изотропно-излучаемая мощность (ЭИИМ). Из этой цифры необходимо вычесть чувствительность приемника в оборудовании пользователя, которая формируется из коэффициента шума приемника, теплового шума и отношения сигнал/шум, а также учесть все прочие потери, такие как потери из-за проникновения сигнала в автомобиль или в здание. Полученное в итоге число будет обозначать максимальные потери, которые сигнал может претерпеть при распространении от базовой станции до оборудования пользователя и всё еще быть распознан мобильным устройством. Это число будет использовано в модели по прогнозу затухания радиоволны для различных условий. Так для прогноза радиуса действия базовой станции в мелких городах и загородных областях, используется модель Hata. Математическая формула данной модели записывается следующим образом:

$$L_H = 69.55 + 26.26 \log(f) - 13.87 \log(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log R,$$

где L_H – потери в дБ,

f – операционная частота в МГц;

h_b – высота антенны базовой станции в метрах;

$a(h_m)$ – коэффициент, зависящий от высоты антенны мобильного устройства;

R – радиус действия в километрах.

Выразив из этой формулы R и подставив наибольшие возможные потери в L_H , возможно получить максимальный радиус действия базовой станции.

Для прогнозирования радиуса действия в условиях центра города использована модель COST231 Валфич/Икегами. Эта модель состоит из трех компонентов: потери в открытом пространстве, дифракция крыша-улица и потери на рассеяния и много-экранные потери. Эта модель более сложная, чем Hata и представляет собой комбинацию эмпирической и детерминистической модели. Она учитывает не только высоту антенн передатчика и приемника, но также высоту зданий, расстояние между

зданиями и ширину улицы. Таким образом, данная модель может с достаточной степенью точности предсказать радиус действия базовой станции, расположенной в центре города.

В таблице 5.1 представлен бюджет мощности базовой станции. Количество ресурсных блоков, используемых для передачи применяется для расчета теплового шума приемника, который зависит от используемого частотного диапазона:

$$P_{\text{тепл}} = 10 \cdot \log_{10}(k_B \cdot T \cdot \Delta f \cdot 1000), \text{ дБм}, \quad (6)$$

где k_B – постоянная Больцмана $1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К,

T – абсолютная температура и Δf – полоса частот, Гц.

Таблица 5.1- Бюджет мощности

Базовая станция	Мин	Значение	Макс
Кол-во ресурсных блоков	1	6	100
Мощность передатчика, дБм	43	43.0	48
Усиление антенны, дБ	15	18.0	21
Потери в кабелях, дБ	1	2.0	6
Усиление адаптивной антенной решеткой, дБ	0	0.0	10
ЭИИМ (a + b - c + d), дБм		59.0	
Коэф. Шума приемника, дБ	6	9.0	11
Тепловой шум, дБм	-121.3	-113.5	-100.8
Уровень шума приемника (f + g), дБм		-104.5	
Отношение сигнал/шум, дБ	-5.1	-5.1	18.6
Чувствительность приемника (h + i)		-112.6	
Поправка на интерференцию, дБ	2.5	2.5	8
Усиление антенны мобильного устройства, дБ	-5	0.0	10
Поглощение сигнала телом, дБ	3	3.0	5
Поглощение кузовом автомобиля, дБ	0	0	6
Поглощение стенами здания, дБ	0	0	20
	Бюджет	166.1	дБ

В таблице 5.2 представлены параметры моделей для расчета дальности действия базовой станции.

Таблица 5.2 - Параметры моделей для расчета дальности действия

Частота, МГц	704	2000	2620
Высота антенны мобильного устройства, м	1	1.5	10
Высота антенны базовой станции, м	10	30	200
Загородные условия (Модель Hata)	Радиус действия, км		8.140
Высота крыши, м		9	
Ширина улицы, м		25	
Расстояние между зданиями, м		40	
Городские условия (Модель Cost231)	Радиус действия, км		3.041

Рассмотрен случай с типичными значениями высот антенн. Параметры модели COST231 предполагают нахождение базовой станции в городе с низкоэтажной, довольно редкой застройкой, что позволяет сигналу распространяться на расстояние более трех километров.

Радиусы действия, указанные в таблице 5.2, рассчитанные на основе набора параметров, указанных в таблице 5.1, представляют собой наибольшие возможные значения, при которых мобильное устройство сможет принять и декодировать сигнал от базовой станции, но скорость передачи данных будет минимальной.

Высокие скорости передачи данных в сетях LTE достигаются путем применения модуляций высокого порядка. В сетях LTE предусматривается использование трех видов модуляции сигнала: квадратурная фазовая модуляция (Quadrature Phase Shift Keying, QPSK) и два вида квадратурной амплитудной модуляции (Quadrature Amplitude Modulation, QAM) – 16QAM и 64QAM. Модуляция QPSK позволяет передавать два бита в одном символе, модуляция 16QAM – 4 бита в символе и 64QAM – 6 бит в одном символе. Однако, для квадратурной амплитудной модуляции, состояние радио-канала должно быть достаточно хорошим, и требования к соотношению сигнал/шум очень высокие. Чем выше порядок модуляции, тем больше должно быть соотношение сигнал/шум в приемнике, для того, чтобы сообщение было успешно декодировано.

Для защиты передаваемой информации, в LTE предусмотрена система коррекции ошибок методом упреждения (Forward Error Correction, FEC также именуется Channel Coding), которая заключается в том, что информационным битам добавляются контрольные биты, по которым, в случае потери бит информации, можно будет восстановить начальное сообщение. Чем хуже состояние радио-канала (чем ниже соотношение сигнал/шум), тем больше контрольных бит будет добавлено в начальное сообщение. Очевидно, что контрольные не информационные биты снижают полезную скорость передачи данных. В LTE применяются следующие коэффициенты кодирования: 1/8, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 2/3, 3/4 и 4/5. Эти соотношения

показывают количество контрольных бит в сообщении. К примеру, соотношение 2/3 показывает, что из 3-х передаваемых бит, два бита являются информационными и один - контрольным.

Для каждого сочетания модуляционной техники и соотношения FEC, существует требуемое значение отношения сигнал/шум. Очевидно, что чем выше порядок модуляции и чем меньше добавлено контрольных бит, тем выше требуемое соотношение сигнал/шум в приемнике, следовательно, тем ближе приемник должен находиться к передающей базовой станции.

Для каждого сочетания модуляционной техники и степени кодирования возможно рассчитать относительную чувствительность (Reference Sensitivity) приемника, воспользовавшись следующей формулой:

$$\text{REFSENS} = P_{\text{тепл}} + \text{NF} + \text{SINR} + \text{IM} - 3, \text{ дБм}, \quad (7)$$

где $P_{\text{тепл}}$ - тепловой шум в дБм;

NF (Noise figure) - коэффициент шума в дБ;

SINR (Signal to Noise and Interference Ratio) – отношение сигнала к шуму и интерференции в дБ;

IM (Implementation Margin) – запас на реализацию в дБ;

3 дБ – соответствуют усилению за счет применения технологии MIMO.

В таблице 5.3 представлены значения SINR для расчета относительной чувствительности приемника. Из таблицы видно, что наивысшие требования по соотношению сигнал/шум плюс интерференция предъявляются к высоким порядкам модуляции с наименьшим количеством контрольных бит.

При подстановке относительной чувствительности в мощностной бюджет возможно рассчитать радиус, в котором будет еще будет действовать та или иная техника модуляции. Очевидно, что наименьшим радиус будет для модуляции 64QAM с небольшим количеством контрольных бит.

Таблица 5.3 - Соотношения сигнал/шум плюс интерференция для различным техник модуляции и FEC.

Модуляция	FEC	SINR, дБ	IM, дБ	SINR+IM, дБ
QPSK	1/8	-5,1	2,5	-2,6
	1/5	-2,9		-0,4
	1/4	-1,7		0,8
	1/3	-1		1,5
	1/2	2		4,5
	2/3	4,3		6,8
	3/4	5,5		8,0
	4/5	6,2		8,7
16QAM	1/2	7,9	3	10,9
	2/3	11,3		14,3
	3/4	12,2		15,2
	4/5	12,8		15,8
64QAM	2/3	15,3	4	19,3
	3/4	17,5		21,5
	4/5	18,6		22,6

В таблице 5.4 представлены значения эффективных радиусов действия различных типов модуляции с указанным соотношением контрольных и информационных бит. Как видно из таблицы, модуляция наивысшего порядка с наименьшим числом контрольных бит доступна только в областях, прилегающих к базовой станции, а значит наивысшие скорости передачи данных доступны только там.

Таблица 5.4 - Расчет эффективных радиусов действия.

Модуляция	FE C	SINR ,дБ	SINR+I M,дБ	REFSENS ,дБм	Максимальные потери, дБ	Радиус действия (Модель COS T231), м	Радиус действия (Модель N ATA), м
QPSK	1/8	-5.1	-2.6	-112.60	166.10	3041	7393
16QAM	1/2	7.9	10.9	-99.60	153.10	1383	3160
64QAM	4/5	18.6	22.6	-88.90	142.40	723	1570

Для расчета пропускной способности базовой станции в LTE сети для начала необходимо ознакомиться со структурой организации данных. Во временной области данные организованы в десяти миллисекундные радиоячейки (Radio frame). Каждая из таких ячеек состоит из десяти одномиллисекундных под-ячеек (Subframe), которые, в свою очередь делятся на два слота продолжительностью 0.5мс. В частотной области данные сгруппированы в группы по 12 под-несущих (Sub-carrier) частот, каждая из которых имеет диапазон в 15 кГц, что дает в сумме 180 кГц на группу. Группа из двенадцати под-несущих частот продолжительностью в один слот называется ресурсный блок (Resource Block). Наименьшая ресурсная единица в LTE представляет собой одну поднесущую частоту продолжительностью в один слот и именуется как ресурсный элемент (Resource Element). В зависимости от типа защитного интервала (Cyclic Prefix) - нормальный или расширенный, один ресурсный блок состоит из 84 или 72 ресурсных элементов соответственно. Один ресурсный элемент, в зависимости от модуляционной техники может содержать 2 бита для QPSK, 4 бита для 16QAM и 6 бит для 64QAM, как это уже было сказано ранее.

Таким образом, на основании этих данных возможно рассчитать максимальную теоретическую пропускную способность базовой станции. Если мы предположим выделение базовой станции максимального частотного диапазона – 20МГц, соответствующего 100 ресурсных блоков, использование модуляции 64QAM и стандартного защитного интервала Cyclic Prefix, скорость передачи данных может быть рассчитана следующим образом. Каждый из 100 ресурсных блоков будет состоять из 84 ресурсных элементов, каждый из которых, в свою очередь, несет в себе 6 бит информации. Продолжительность ресурсного элемента – 0.5 мс. Таким образом, скорость передачи данных базовой станцией будет составлять:

$$\text{Скорость данных} = 100 [\text{ресурсных блоков}] \cdot 84 [\text{Ресурсных элементов}] \cdot 6 [\text{Бит}] / 0.5 [\text{мс}] = 100.8 \text{ Мбит/с} \quad (8)$$

Однако, рассчитанная скорость передачи данных будет значительно превосходить полезную скорость передачи, так как в данном расчете учитываются все передаваемые биты, включая контрольные биты системы

коррекции ошибок (FEC), а также биты контрольной информации, передаваемой базовой станцией.

Мгновенная пользовательская скорость передачи данных будет зависеть от количества ресурсных блоков определенных пользователю, используемой модуляции и степени кодирования.

Таблица 5.5 - Моделирование пропускной способности базовой станции

Параметр	Мин	Значение	Макс
Количество ресурсных блоков	6	15	100
Частотный диапазон, МГц	1.4	3	20
Модуляция		QPSK	
Бит в символе		2	
Степень кодирования		1/3	
Информационных бит в символе		0.667	
Защитный интервал		Нормальный	
Ресурсных элементов в ресурсном блоке		84	
Количество контрольных символов PDCCH	1	1	4
Количество характеристических символов	8	8	24
Количество ресурсных элементов для данных пользователя в одном ресурсном блоке		74	
Пропускная способность (Мбит/с)		1.48	

В таблице 5.5 представлен расчет пропускной способности базовой станции, имеющей диапазон частот 3 МГц, соответствующий пятнадцати ресурсным блокам. Предполагая, что будет использована модуляция QPSK со степенью кодирования 1/3, пропускная способность данной базовой станции составит 1.48 Мбит/с. Имея в своем распоряжении полосу частот, соответствующую 15 ресурсным блокам, базовая станция сможет одновременно обслуживать максимум 15 пользователей с предоставлением каждому одного ресурсного блока, таким образом, каждому пользователю будет доступен канал со скоростью передачи данных приблизительно 100 кбит/с.

Определенное количество ресурсов отводится базовой станцией для контрольной информации.

Так, логическому каналу PDCCH (Physical Downlink Control Channel) может быть отведено от 1 до 3 (от 2 до 4 в случае минимального частотного диапазона 1.4 МГц) символов в первом слоте каждой под-ячейки (Subframe). Таким образом, контрольная информация может занимать от 7.14% до 28.5% от всей информации в одном ресурсном блоке.

Ресурсы также выделяются под характеристические символы, которые равномерно распределены по ресурсному блоку и несут в себе информацию о

базовой станции. Количество таких символов может составлять 8, 12 или 24 символа, что в результате отнимает от 4.8% до 14.3% от общего числа символов в одном ресурсном блоке.

Таблица 5.6 - Моделирование пропускной способности базовой станции

Модуляция / Степень кодирования	6	15	25	50	75	100
QPSK 4/5	1.310	3.55	5.92	11.84	17.76	23.68
16QAM 4/5	2.61	7.10	11.84	23.68	35.52	47.36
64QAM 4/5	3.92	10.66	17.76	35.52	53.28	71.04

В таблице 5.6 показаны пропускные способности базовой станции при различных частотных диапазонах и при использовании трех модуляционных техник с фиксированной степенью кодирования. Как видно из таблицы, максимальная возможная скорость передачи данных составляет около 71 Мбит/с, что приблизительно на 30% ниже заявленной максимальной скорости 100 Мбит/с. Это означает, что приблизительно треть ресурсов используется для защиты пользовательской информации от повреждения при передаче и для контрольной информации, передаваемой базовой станцией для всех пользователей в радиусе ее действия.

В заключении, можно сказать, что разработанная модель позволяет оценить радиус действия и пропускную способность базовой станции сети LTE и использовать эти данные для моделирования различных сценариев загрузки базовой станции. Этот инструмент является доступным и не требующим больших ресурсов персонального компьютера, что позволяет использовать его в учебных и познавательных целях.

Заключение

Сеть, построенная на основе технологии LTE, отвечает требованиям к сетям следующего поколения. Существующие операторы 3GPP/3GPP2 смогут модернизировать, а новые операторы связи построить высокопроизводительные мультисервисные сети на основе технологии LTE 4G.

Переход на LTE-сети может снизить затраты оператора на предоставление услуг, а пользователям предоставит доступ к абсолютно новым сервисам, недоступным в сетях предыдущих поколений.

В работе была разработана модель, позволившая оценить радиус действия и пропускную способность базовой станции сети LTE, полученные данные могут быть использованы для моделирования различных вариантов загрузки базовой станции. Также была собрана и протестирована небольшая домашняя сеть из нескольких устройств. Получен доступ к различным услугам: широкополосному доступу в Интернет, Интернет-телевидению и телефонии. Результаты исследования, проведенного в работе, могут быть применены как в домашних, так и в корпоративных сетях.

С помощью построенной сети пользователи в скором времени смогут получить доступ к качественным, высокоскоростным интернет-услугам за небольшую плату.

Список литературы

1. Гавлиевский, С.Л. Варианты построения узлов доступа Интернет-провайдеров / С.Л. Гавлиевский, О.В. Сироткина // VIII Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: тез. докл. - Самара, 2001. - С. 99-100.
2. Гавлиевский, С. Л. Технологии и сетевые решения, используемые при построении сети Интернет: учеб. пособ. / С.Л. Гавлиевский. - Самара: СамГТУ, 2006. - 74 с.
3. Гавлиевский, С.Л. Узел IP-сети для подготовки системных администраторов корпоративных сетей и сетей Интернет сервис провайдеров / С.Л. Гавлиевский, А.А. Солонская // Компьютерные технологии в науке, практике и образовании: тез. докл. Всероссийской межвузовской научно-практической конференции. - Самара, 2003. - С. 78.
4. Соколов Н.А.. Семь аспектов развития сети доступа – «Технологии и средства связи», №3, 2005.
5. Соколов Н.А. Сети абонентского доступа. Принципы построения – Научно-техническое издание, 1999.
6. Smith C. 3G Wireless Networks: Учеб. пособие / С. Smith, D. Collins. – Нью Йорк, 2007. – 408 с.
7. Sessia. S. LTE – The UMTS Long Term Evolution: Учеб. пособие / S. Sessia, I. Toufic, M. Baker. – Чичестер, Великобритания, 2009. – 522 с.
8. Технология LTE // Электронная версия на сайте <http://pro-spo.ru/mobilnye-texnologii-i-telefony>
9. Обзор маршрутизатора Huawei-e5776 // Электронная версия на сайте <http://www.ixbt.com/comm/huawei-e5776>
10. Шамшиденова А.Б. Исследование режимов передачи мультисервисной сети технологии LTE 4G – «Поиск», №1, 2014.