

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, Ф.И.О.)

« » 2014г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

пояснительная записка

На тему: «Анализ способов реализации передачи голоса в сети LTE»

Магистрант Федотов Б.А. группа МТСп-12-1

(Ф.И.О.)

подпись

Руководитель д.ф.м.н., проф. Козин И.Д.

подпись

(Ф.И.О.)

Рецензент к.т.н., проф. Хасенова Г.И.

подпись

(Ф.И.О.)

Консультант по ВТ к.х.н.,ст..преп. Данько Е.Т.

подпись

(Ф.И.О.)

Нормоконтроль к.х.н.,преп. Кудинова В.С.

подпись

(Ф.И.О.)

Алматы, 2014г.

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет Радиотехника и связь

Специальность Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Кафедра Телекоммуникационных систем

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Федотову Борису Алексеевичу

(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации «Анализ способов реализации передачи голоса в сети LTE»

утверждена Ученым советом университета № 142 от «__» _____

Срок сдачи законченной диссертации «25» декабря 2013г. _____

Цель исследования Исследование способов реализации услуги по передачи голоса в сети LTE и выбор наиболее подходящего

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

1 Обзор технологий передачи голоса в сети LTE;

- 2 Анализ и подробное изучение способов выбранных технологий;
 - 3 Выбор оптимального способа для решения проблемы передачи голоса;
 - 4 Экспериментальное исследование недостатков выбранной технологии;
 - 5 Изучение результатов исследования и анализ возможности внедрения технологии в сеть LTE
-

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей) 1. Структура сети стандарта LTE; 2. Совместное решение технологий сотовой связи UMTS и LTE; 3. Упрощенная архитектура EPS-сети для организации CS fallback; 4. Упрощенная схема сети с использованием технологии VoLGA; 5. Архитектура стандартной IMS-системы; 6. Время установления исходящего и входящего вызовов; 7. Зависимость задержки установления голосового соединения от загрузки сети.

Рекомендуемая основная литература

- 1 Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б., Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура. - М.: ЭкоТрендз, 2010 – 284с.
- 2 Гельгор А.Л., Попов Е.А., Технология LTE мобильной передачи данных: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.- 204 с.
- 3 Залицкий А., Шельгов В., Тестирование инфраструктурных решений для сетей LTE: Журнал сетевых решений/Телеком, № 04, 2011

Г Р А Ф И К

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Обзор технологий передачи голоса в сети LTE	04.11.12	выполнено
Анализ и подробное изучение самых перспективных технологий	09.03.13	выполнено
Сравнение решений и выбор оптимального варианта	18.05.13	выполнено
Экспериментальное исследование недостатков выбранной технологии, расчет параметров сети с внедренной услугой	30.09.13	выполнено
Анализ результатов, формирование рекомендаций по реализации	20.11.13	выполнено

Дата выдачи задания _____ 3 сентября 2012 _____

Заведующий кафедрой _____ (_____ Коньшин С.В. _____)
 (подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации _____ (_____ Козин И.Д. _____)
 (подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению магистрант(_____ Мухтарова Р.Ф. _____)
 (подпись) (Ф.И.О.)

Аннотация

В магистерской диссертации рассмотрены особенности архитектуры сетей четвертого поколения мобильной связи LTE, взаимосвязанная структура транспортных и логических каналов. Выполнен общий обзор технологий передачи голоса в сетях LTE. Проведены анализ и подробное изучение наиболее подходящих методов.

Также в работе приведены результаты экспериментального исследования выбранной технологии на основе сотовой сети LTE компании «АЛТЕЛ». Представлены расчеты технологических характеристик радиointерфейса стандарта LTE. Предлагается оптимальный вариант решения проблемы организации голосовых услуг в сети LTE и обосновывается целесообразность внедрения выбранной технологии.

Annotation

The Master's dissertation includes the architectural features of the fourth (4th) generation of LTE mobile communication and interconnected structure of transport and logical channels. The general overview of the voice broadcast technology in LTE network, analysis and detailed study of the most applicable methods are described in dissertation.

The dissertation includes the results of chosen method's experimental study based on "ALTEL" company's LTE mobile network and the calculations of the technologic characteristics of the LTE standard's radio interface. Based on the study results, the optimal determination for voice service organizational issue in LTE network is given and the chosen technology's implementation practicability is justified.

Аннотация

Магистерлік диссертация LTE ұтқыр байланысының төртінші ұрпақты желісінің құрылымдық ерекшеліктерін, көлік және қисын арналарының өзара байланысты құрылымын қарастырады.

LTE желілеріндегі дауыс жеткізу технологияларына жалпы шолу жүргізілген. Ең жарамды әдістер жан-жақты зерттеліп, талданды.

Сондай-ақ жұмыста «АЛТЕЛ» компаниясының LTE ұялы байланысына негізделген технологиясын эксперименттік зерттеу нәтижелері келтірілген. LTE стандартты радиointерфейстің технологиялық сипаттамалары есептелген. LTE желісіндегі дауыс қызметтерін ұйымдастыру мәселелерін шешудің оңтайлы нұсқалары ұсынылады және іріктелген технологияны енгізудің мақсатқа лайықтылығы негізделеді.

Содержание

Введение.....	10
1 Технология LTE.....	11
1.1 Описание	11
1.2 Устройство сети	13
1.3 Организация информационных каналов	15
1.4 Особенности развития LTE.....	16
2 Реализация передачи голоса в сети LTE.....	18
2.1 Угроза со стороны OTT-сервисов	18
2.2 Способы решения.....	19
2.3 Анализ и сравнение.....	35
3 Экспериментальная часть.....	37
4 Расчет технологических характеристик сети	42
4.1 Эффективность использования полосы пропускания.....	42
4.2 Расчет эффективности мощности и уровня сигнал/шум	49
4.3 Расчет опорного уровня чувствительности.....	59
4.4 Динамический диапазон.....	60
4.5 Расчет числа абонентов в зависимости от нагрузки.....	60
4.6 Расчет радиуса покрытия	62
4.7 Оценка речевого трафика в сети LTE	66
4.6 Максимальное количество базовых станций	66
Заключение	67
Терминология	68
Список литературы	69
Приложение А	71
Приложение Б	72

Введение

Тенденция, когда в главной роли выступает передача данных, все очевиднее проявляет себя в глобальном развитии связи мобильной индустрии. В настоящее время люди привыкли к быстрым скоростям мобильного Интернета и он становится такой же необходимостью в повседневной жизни, как когда-то фиксированный.

Дальнейшим формированием мировых телекоммуникационных технологий в области мобильной связи считаются разработка и внедрение стандартов 4G, которые обеспечат огромные скорости передачи данных и, соответственно, повысят качество предлагаемых пользовательских услуг и снизят издержки в использовании телекоммуникационного оборудования.

Одним из способов, предназначенных для решения актуальных задач в современных телекоммуникациях, является применение технологии Long Term Evolution (сокращённо, LTE-технологии). Соответственно, сети сотовой связи, которые реализованы на основе данного стандарта, называют LTE-сети.

Сегодня почти ни у кого нет сомнений в том, что технология LTE имеет самую большую перспективу в широкополосной мобильной связи. По данным организации Global mobile Suppliers Association (GSA), по состоянию на 5 декабря 2013 года в мире насчитывалось более 500 операторов связи, которые дали обязательства по построению сети LTE. Из них 251 оператор уже запустил сеть в 93 странах, а к середине 2014 года их число достигнет 260 [1].

Хотя сеть LTE в настоящее время используется по большей части в целях доступа в Интернет, конечно, передача данных будет не единственной услугой, которая предоставляется в этих сетях. Операторы, как и прежде, получают основной доход от телефонии, и даже несмотря на быстрый рост трафика данных, для них очень важна возможность сохранения услуги передачи голоса и SMS. Проблема в том, что LTE, будучи технологией «All-IP», передачу голоса не поддерживает в том смысле, в котором мы это понимаем на примере традиционных сетей GSM/UMTS. Теоретически, благодаря отличным характеристикам (малые задержки и высокая скорость), сеть в состоянии обеспечить тот уровень качества речи, который предоставляли технологии предыдущих поколений, а может и лучше.

Цель работы состоит в поиске решения для реализации голосовых услуг в сети LTE. Для достижения данной цели в работе необходимо сделать следующее:

- общий обзор технологий по передаче голоса в сети LTE;
- анализ и сравнение наиболее подходящих технологий;
- сделать экспериментальные исследования путем рассмотрения недостатков выбранной технологии, влияющих на производительность;
- произвести необходимые расчеты.

1 Технология LTE

1.1 Описание

3GPP Long Term Evolution (LTE) — технология построения сетей беспроводной связи поколения, следующего за 3G, на базе IP-технологий, отличающаяся высокими скоростями передачи данных. Соответствующий стандарт разработан и утвержден международным партнерским объединением 3GPP для обеспечения необходимой полосы пропускания и качества обслуживания (QoS), чтобы использовать приложения, требующих передачи большого количества данных и информации [2].

LTE включает усовершенствованную систему пакетной передачи, которая состоит из обновленной сети UMTS наземного радиодоступа (E-UTRAN) и улучшенного центра пакетной коммутации, а также обеспечит передачу информации с большой пропускной способностью, низкими задержками и большей шириной полосы пропускания через упрощенную IP архитектуру.

В дополнение, LTE был специально разработан для совмещенной работы со всеми существующими сетями как технология будущего, чтобы помочь провайдерам мобильной связи трансформировать свои сети в соответствии с потребностями завошней связи. Он обеспечит более эффективный и качественный сервис, как для голосовой информации, так и для передачи данных.

LTE обладает рядом особенностей и преимуществ по сравнению с предыдущими стандартами сотовой связи [3]. В их числе:

- а) Большие пиковые скорости (на рисунке 1.4 представлено сравнение):
 - 1) до 100 Мбитс в направлении вниз (20 МГц, 2x2 MIMO)
 - 2) до 50 Мбитс в направлении вверх (20 МГц, 1x2);
- б) Как минимум 200 активных пользователей голосовыми услугами на каждые 5 МГц;
- в) Малые задержки <5 мс;
- г) Полоса пропускания 4G предоставляет полосу пропускания в 4 раза больше, нежели в нынешних 3G системах;
- д) Улучшенная спектральная эффективность. Под спектральной эффективностью понимается то, насколько узко используется полоса пропускания уровнем доступа к беспроводной сети. Улучшенное значение позволяет большему объему информации передаваться по этой полосе пропускания, при этом число пользователей и сервисов увеличивается. Количество передаваемой информации возрастает в среднем в 2-4 раза в сравнении с предыдущим релизом;
- е) Улучшенные скорости передачи на границе соты. Значение спектральной эффективности улучшается не только у мачт, но и на границе

сот. Скорости увеличиваются в 2-3 раза по сравнению с предыдущим стандартом;

ж) Нет разделения передачи голоса и данных на уровне ядра. Вся сеть используется для передачи данных по одному каналу IP;

з) Улучшенная поддержка качества обслуживания абонента.

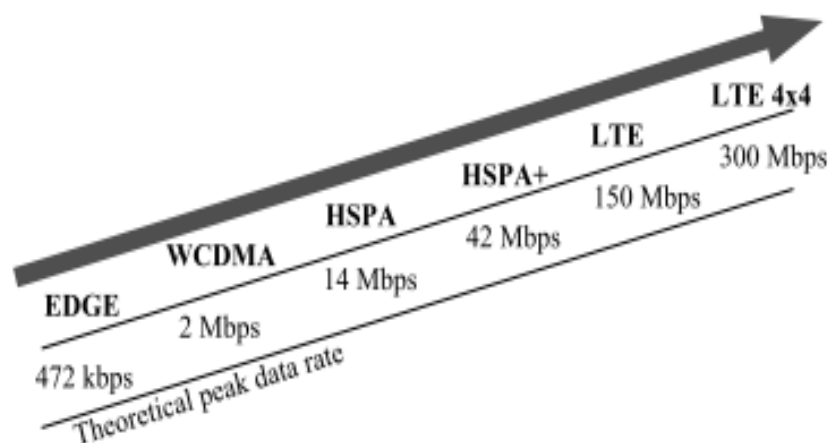


Рисунок 1.1 – Пиковые скорости передачи стандартов сотовой связи

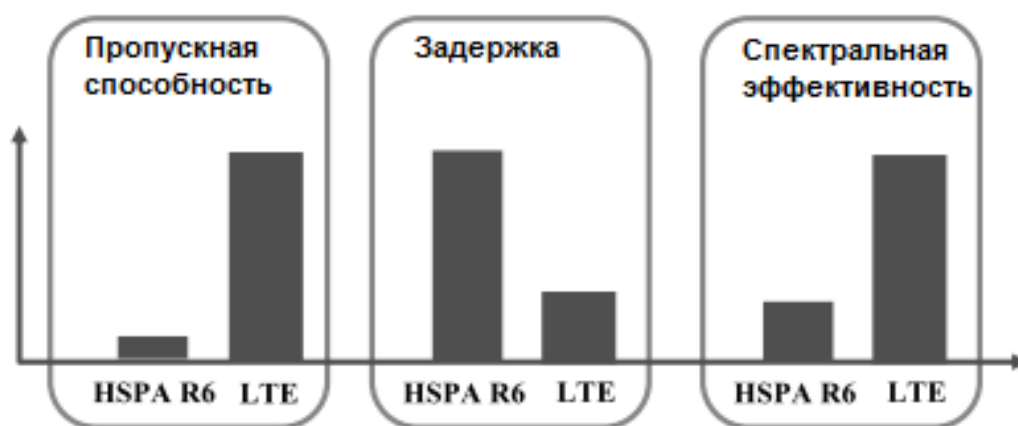


Рисунок 1.2 – Особенности системы LTE

Технология LTE называется также E-UTRA – расширенный универсальный наземный радиодоступ и E-UTRAN – сеть расширенного универсального наземного доступа. Для развертывания сетей стандарта LTE выделено две полосы частот: одна из них расположена в диапазоне 700 МГц, а вторая — 2,1 ГГц. Радиointерфейс LTE поддерживает оба метода дуплексного разделения каналов: дуплексный режим с частотным

разделением (FDD) и дуплексный режим с временным разделением (TDD), часто обозначаемых FD-LTE и TD-LTE, соответственно.

Особенностью радиointерфейса в линии «вниз» сети LTE является использование технологии множественного доступа Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA). Интервал времени передачи (TTI) в линии «вниз» соответствует длительности подкадра и равен 0.5 мс. В линии «вниз» поддерживаются следующие виды модуляции: Quadrature Phase Shift Keying (QPSK), 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) и 64QAM [4]. Также используется технология Multi-Input Multi-Output (MIMO). Основная конфигурация технологии MIMO предполагает использование двух передающих и двух приемных антенн базовой станции и мобильного терминала. [5]

Несмотря на максимальное значение скорости передачи данных по нисходящему каналу более 100 Мбит/с, а по восходящему – более 50 Мбит/с, планируется существенное повышение эффективности использования спектра и производительности и значительное снижение времени ожидания.

1.2 Устройство сети

Архитектура сети LTE разработана таким образом, чтобы обеспечить поддержку пакетного трафика с так называемой “гладкой” (“бесшовной”) мобильностью, минимальными задержками доставки пакетов и высокими показателями качества обслуживания. Мобильность как функция сети обеспечивается двумя её видами: дискретной мобильностью (роумингом) и непрерывной мобильностью (хэндовером). Поскольку сети LTE должны поддерживать процедуры роуминга и хэндовера со всеми существующими сетями, для LTE-абонентов (терминалов) должно обеспечиваться повсеместное покрытие услуг беспроводного широкополосного доступа.

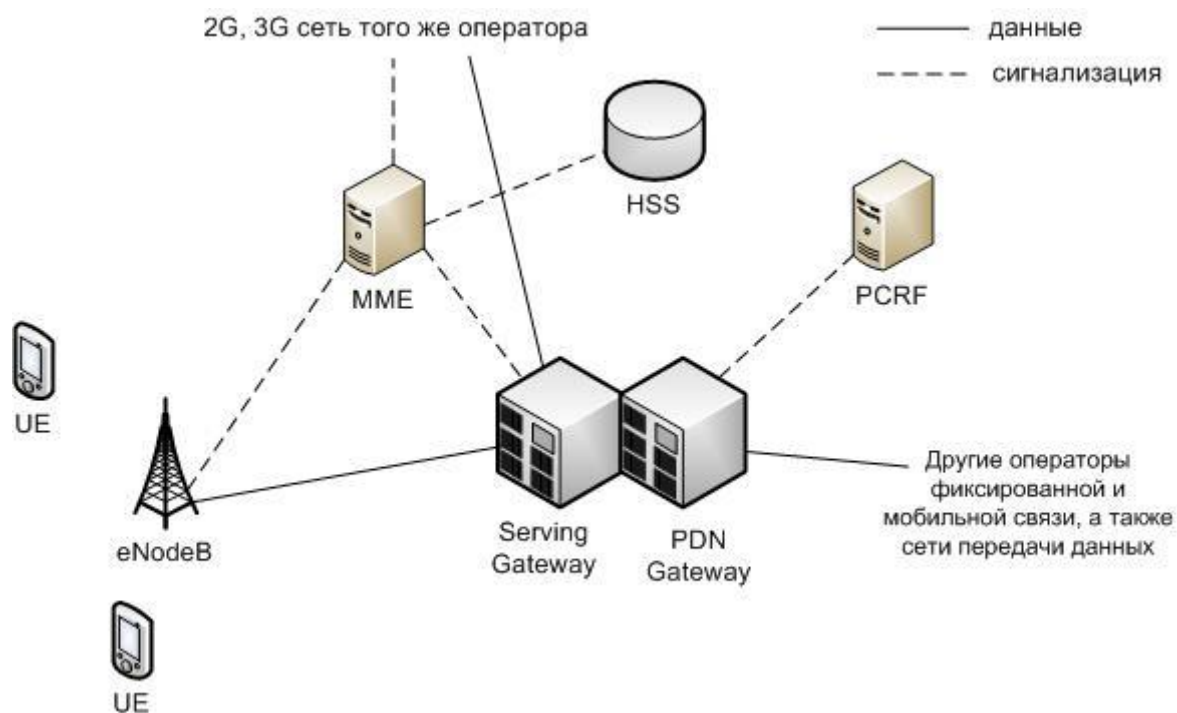


Рисунок 1.3 - Структура сети стандарта LTE

Структура сети сильно отличается от сетей стандартов 2G и 3G. Из рисунка 1.3 видно, что существенным изменениям подверглись не только подсистема базовых станций, но и подсистема коммутации. Технология передачи данных между оборудованием пользователя и базовой станцией была существенно изменена. Существенные изменения претерпели и протоколы передачи данных между сетевыми элементами. Теперь вся информация, включая голос и данные, передается в виде пакетов. Таким образом, разделения на части обрабатывающие либо только голосовую информацию, либо только пакетные данные уже не существуют.

Можно выделить следующие основные элементы сети стандарта LTE:

Serving SAE Gateway (SGW) – обслуживающий шлюз сети LTE. Он предназначен для обработки и маршрутизации пакетных данных поступающих из/в подсистему базовых станций. SGW имеет прямое соединение с сетями второго и третьего поколений того же оператора, что упрощает передачу соединения в /из них по причинам ухудшения зоны покрытия, перегрузок и т.п. В SGW нет функции коммутации каналов для голосовых соединений, т.к. в LTE вся информация, включая голос коммутируется и передается с помощью пакетов.

Public Data Network SAE Gateway (PGW) – шлюз к сетям передачи данных других операторов для сети LTE. Основная задача PGW заключается в маршрутизации трафика сети LTE к другим сетям передачи данных, таких как Интернет, а также сетям GSM, UMTS.

Mobility Management Entity (MME) – узел управления мобильностью сети сотовой связи стандарта LTE. Он предназначен для обработки

сигнализации, преимущественно связанной с управлением мобильностью абонентов в сети.

Home Subscriber Server (HSS) – сервер абонентских данных сети сотовой связи стандарта LTE. Представляет собой большую базу данных и необходим для хранения данных об абонентах. Кроме того, HSS генерирует данные, необходимые для осуществления процедур шифрования, аутентификации и т.п. Сеть LTE может включать один или несколько HSS. Количество HSS зависит от географической структуры сети и числа абонентов.

Policy and Charging Rules Function (PCRF) – элемент сети сотовой связи стандарта LTE, отвечающий за управление начислением платы за оказанные услуги связи, а также за качество соединений в соответствии с заданными конкретному абоненту характеристиками.

1.3 Организация информационных каналов

Для того чтобы данные могли быть транспортированы через интерфейс радио LTE, используются различные «каналы». Они используются для того, чтобы выделять различные типы данных и позволить им транспортироваться через сеть доступа более эффективно. Использование нескольких каналов обеспечивает интерфейс более высокого уровня в рамках протокола LTE и включают более чёткую и определенную сегрегацию данных.

Есть три категории, в которые могут быть сгруппированы различные каналы передачи данных:

Логические каналы – предоставляет услуги среднего уровня управления доступом MAC в пределах структуры протокола LTE. Логические каналы по типу передаваемой информации делятся на логические каналы управления и логические каналы трафика. Логические каналы управления используются для передачи различных сигнальных и информационных сообщений. По логическим каналам трафика передают пользовательские данные.

Транспортные каналы — транспортные каналы физического уровня предлагают передачу информации в MAC и выше. Информацию логических каналов после обработки на RLC/MAC уровнях размещают в транспортных каналах для дальнейшей передачи по радиоинтерфейсу в физических каналах. Транспортный канал определяет, как и с какими характеристиками происходит передача информации по радиоинтерфейсу. Информационные сообщения на транспортном уровне разбивают на транспортные блоки. В каждом временном интервале передачи (Transmission Time Interval, TTI) по радиоинтерфейсу передают хотя бы один транспортный блок. При использовании технологии MIMO возможна передача до четырех блоков в одном TTI.

Физические каналы – это каналы передачи, которые переносят пользовательские данные и управляющие сообщения. Они изменяются между

восходящим и нисходящим потоками, поскольку каждый из них имеет различные требования и действует по-своему.

К современным беспроводным системам связи ставятся жесткие требования по обеспечению высокой пропускной способности и помехозащищенности.

Прежде всего, необходимо отметить некоторую условность понятия “сети LTE”, под которой — вопреки требованиям однозначной критериальности в технической терминологии — понимают и систему, и сеть, и, наконец, сетевую технологию четвёртого поколения. Сети LTE являются дальнейшим развитием сетей UMTS третьего поколения. В отличие от многих телекоммуникационных систем, для которых спецификации (даже если их достаточно большое количество) имеют чётко выраженные “перечислимость и предназначенность”, техническая документация на систему UMTS представляет собой колоссальное количество разнообразных документов, разрабатываемых в рамках международного консорциума 3GPP (3rd Generation Partnership Project) и открыто публикуемых на страницах всемирного форума www.3gpp.net. Такие документы сгруппированы в соответствующие серии по признаку общности какого-либо аспекта. Технические спецификации, относящиеся непосредственно к сетям LTE, выделены в 36-ю серию.

1.4 Особенности развития LTE

Развитие беспроводной связи сопровождается непрерывной сменой технологий, в основе которых лежат стандарты сотовой связи GSM и CDMA, а также стандарты систем передачи данных IEEE 802.

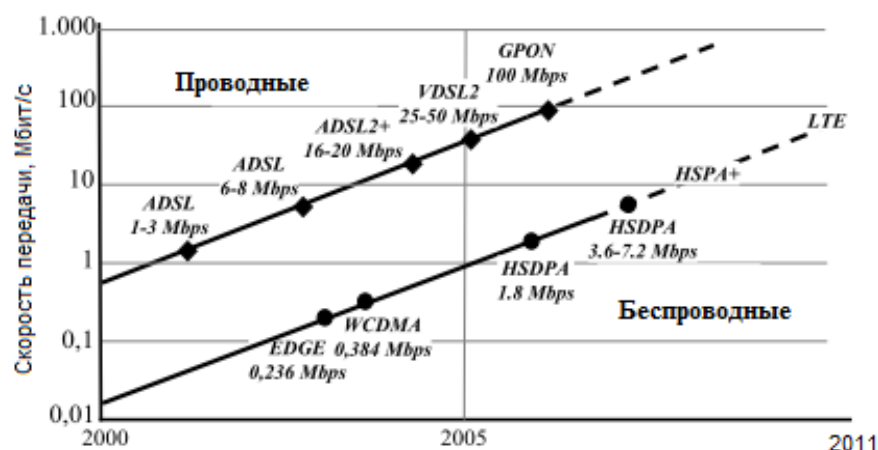


Рисунок 1.4 - Эволюция проводной и беспроводной связи

В связи с тем, что объем пакетных данных в сетях сотовой связи третьего поколения (3G) уже превышает объем голосового трафика, само понятие сетей следующего, четвертого, поколения (4G) неразрывно связано

(если не синонимично) с созданием универсальных мобильных мультимедийных сетей передачи информации. Сегодня две группы технологий явно нацелены на оказание универсальных услуг связи. Это WiMAX (как развитие линии IEEE 802) и технологии сотовой связи поколений 4G LTE. Причем каждая из них занимает свою нишу на обширном рынке беспроводной связи. Технологию LTE можно разворачивать на базе существующих сетей 2 и 3 поколения, что заметно снижает затраты, нежели строить сеть с нуля. На рисунке 1.5 [6] показано решение совместного использования LTE и существующей сети UMTS.

Разработка технологии LTE как стандарта официально началась в конце 2004 года. Основной целью исследований на начальном этапе был выбор технологии физического уровня, которая смогла бы обеспечить высокую скорость передачи данных. В качестве основных были предложены два варианта: развитие существующего радиointерфейса W-CDMA (используемого в HSPA) и создание нового на основе технологии OFDM. В результате проведенных исследований единственной подходящей технологией оказалась OFDM, и в мае 2006 года в 3GPP была создана первая спецификация на радиointерфейс Evolved UMTS Terrestrial Radio Access (E-UTRA).

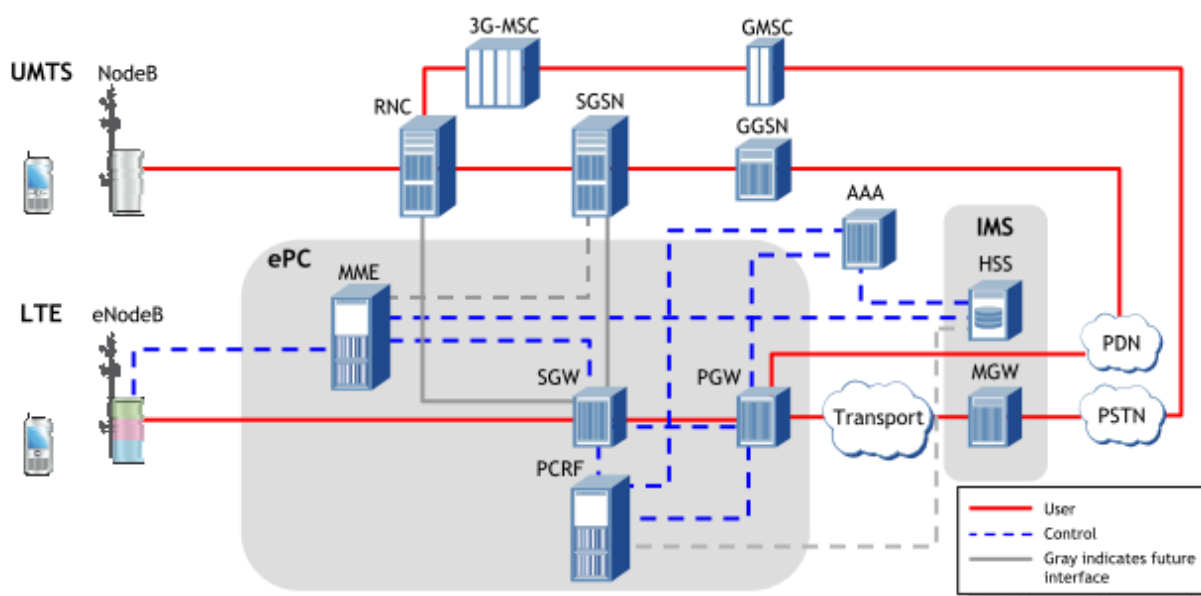


Рисунок 1.5 - Совместное решение технологий сотовой связи UMTS и LTE

Первые, предварительные спецификации LTE создавались в рамках 3GPP Release 7. А в декабре 2008 года утверждена версия стандартов 3GPP (Release 8), фиксирующая архитектурные и функциональные требования к системам LTE. В середине 2009 ожидался выход в свет первых опытных систем на основе LTE, а в 2010 – первых коммерческих сетей. По сравнению с

ранее разработанными системами 3G, радиointерфейс LTE обеспечивает улучшенные технические характеристики [7].

В частности, в LTE ширина полосы пропускания может варьироваться от 1,4 до 20 МГц (по более ранним источникам – от 1,25 МГц), что позволяет удовлетворить потребностям разных операторов связи, обладающих различными полосами пропускания. При этом оборудование LTE должно одновременно поддерживать не менее 200 активных соединений (т.е. 200 телефонных звонков) на каждую 5-МГц ячейку. Также ожидается, что LTE улучшит эффективность использования радиочастотного спектра, т.е. возрастет объем данных, передаваемых в заданном диапазоне частот. LTE позволит достичь внушительных агрегатных скоростей передачи данных – до 50 Мбит/с для восходящего соединения (от абонента до базовой станции) и до 100 Мбит/с для нисходящего соединения (от базовой станции к абоненту) (в полосе 20 МГц). При этом предусматривается обеспечение поддержки соединений для абонентов, движущихся со скоростью до 350 км/ч. Зона покрытия одной БС – до 30 км в штатном режиме, но возможна работа с ячейками радиусом более 100 км.

Также существует поддержка многоантенных систем MIMO. Радиointерфейс LTE позиционируется в качестве решения, на которое операторы будут постепенно переходить с нынешних систем стандартов 3GPP и 3GPP2, а его разработка является важным этапом в процессе перехода к сетям четвертого поколения 4G. Фактически спецификация LTE уже содержит большую часть функций, изначально предназначавшихся для систем 4G, поэтому ее иногда именуют "технологией 3,9G". Дальнейшее развитие технологии LTE привело к созданию спецификации следующего поколения, так называемой LTE-Advanced, которая и обещает стать представительницей четвертого поколения сетей мобильной связи [8];

2 Реализация передачи голоса в сети LTE

2.1 Угроза со стороны OTT-сервисов

Дальнейшему внедрению услуг VoLTE может препятствовать оказание голосовых OTT-услуг. На сегодняшний день существует и используется способ голосовой связи посредством OTT (Over-the-Top) сервисов, таких как Skype, Google Voice, WhatsApp, Viber и т.д. Эти сервисы абсолютны бесплатны. Сеть передачи данных, в основе которой лежит IP, дает удобный транспорт для совершенно разных услуг и выводит управление ими за пределы зоны ответственности оператора к самим пользователям. С развитием технологий (переход на 4G) OTT-провайдеры увеличивают привлекательность своих сервисов, например, обеспечивают поддержку голоса и видео высокого разрешения (HD), что усугубляет проблему.

Но такой способ не удовлетворяет пользователей, так как эти сервисы не гарантируют стабильную, качественную работу. Дело в том, что они полностью полагаются на интернет, а интернет-доставка пакетов осуществляется по принципу "Best effort" (сервис предоставления соединения без гарантий) [9]. Несмотря на известность, как торговых марок, так и компаний-владельцев ОТТ-услуг, потребители зачастую ничего не могут поделать в случае их плохой неустойчивой работы или даже их временного отсутствия. Поставщики ОТТ-сервисов не могут контролировать, точнее, воздействовать на доступность и качество услуг. Трудности также возникают и с поддержкой пользователей: писать придется на каком-либо иностранном языке, время реакции зависит от приоритетов поставщика и его возможностей.

2.2 Способы решения

С каждым днем появляются все больше способов для решения проблемы передачи голоса в сети LTE. Проанализировав ситуацию на рынке, были найдены более десятка таких решений. Путем анализа, были выделены самые перспективные способы, опираясь на мировой опыт:

- Circuit Switched Fall-Back (CSFB);
- Voice over LTE Generic Access (VoLGA);
- IMS-based Voice Services (VoIMS).

И каждое из этих решений имеет свои преимущества и недостатки.

2.2.1 Circuit Switched Fall-Back

CSFB – это технология, которая дает возможность организовывать звонки с LTE-устройств и на них через стандартные мобильные сети с коммутацией каналов. Стандарт вводит новый интерфейс между MME в LTE и MSCs/VLR в сети GSM/UMTS [10].

Суть механизма CSFB состоит в том, что абонентское устройство, работающее в сети LTE, на время осуществления исходящего или приема входящего голосового вызова переключается в традиционную сеть GSM или UMTS. А сессия передачи данных через LTE на это время либо приостанавливается с восстановлением после завершения вызова, либо также переходит в GSM/UMTS. Очевидно, что для работы CSFB обязательно перекрытие радиосетей LTE и GSM/UMTS. Также необходима поддержка CSFB на абонентском оборудовании и на коммутаторах мобильной связи (MSC). На MSC реализуется специальный интерфейс в сторону оборудования LTE/EPC, который предназначен для пейджинга абонентских устройств и управления их переключением между сетями LTE и GSM/UMTS, а также для доставки входящих и исходящих SMS. При этом доставка SMS через этот

интерфейс осуществляется без переключения абонентских устройств в GSM/UMTS.

Механизм CSFB позволяет операторам использовать существующие коммутаторы при условии их ограниченной модернизации. Абонентам же предоставляется полный набор традиционных услуг, доступных с MSC, включая базовые голосовые вызовы и дополнительные виды обслуживания, доставку SMS, вызовы с предварительной оплатой и интеллектуальные услуги. Однако технология CSFB имеет несколько недостатков. Затраты на модернизацию всех MSC для поддержки CSFB могут оказаться весьма и весьма значительными. Необходимость переключения в GSM/UMTS приводит к заметному увеличению задержки установления голосовых соединений, как при исходящих, так и при входящих вызовах. А вследствие приостановки сессии передачи данных или снижения скоростей до уровня GSM/UMTS у абонента может создаваться впечатление, что во время голосового вызова сессия передачи данных прерывается.

Основные характеристики технологии:

- Требуется модернизации MME и MSC для сигнализации и SMS;
- Требуется перекрытие зон GERAN/UTRAN и E-UTRAN;
- Процедура переключения в CircuitSwitch-домен связана с заметным увеличением задержки при установлении голосового соединения;
- Увеличение задержки при установлении голосового соединения;
- Деграция сессий передачи данных до скоростей 2.5G/3G;
- Терминал после завершения вызова, обратно в сеть LTE переходит не сразу.

Входящий звонок. Входящий CS-звонок (например, звонок с PSTN или с GSM-телефона) поступает на MSCs, который знает в какой LAI находится абонент, а также видит, что терминал "доступен" через SGSN (точнее, через MME, что для MSCs - одно и то же). MSCs отправляет сигнал о пейджинге (с конкретным LAI) в сторону MME через SGs-интерфейс, далее в MME LAI пересчитывается в TAI и пейджинг по LTE радиосети доставляется до терминала.

Если в момент пейджинга терминал обменивается данными с сетью - возможно 2 варианта: "приостановление" передачи данных (с восстановлением после окончания звонка) или хэндовер данных в 2G/3G (скорее только в 3G, поскольку режим одновременной передачи данных и голоса в GSM не получил распространения).

Если в момент пейджинга терминал не обменивается данными с сетью - хэндовер данных в сеть 2G/3G не нужен, выполняется "выталкивание" терминала в сеть 2G/3G и терминал откликается на пейджинг уже через 2G/3G.

При выполнении хэндовера (или "выталкивания") базовая станция LTE (eNodeB) получает информацию о станциях 2G/3G из терминала либо пользуется заранее прописанными для данной базовой станции eNodeB соседними 2G/3G станциями. Если, тем не менее, терминал перешел в "неправильный" LAC - возможен Location Update в этой LAI и далее перенаправление звонка в эту новую LAI.

Исходящий звонок. Терминал сообщает сети о желании совершить CS-звонок. Со стороны MME запускается процедура по освобождению LTE-ресурсов и переходу в 2G/3G сеть. После освобождения LTE-ресурсов терминал выполняет Location Update в 2G/3G и далее обычным образом устанавливается CS-звонок.

Для получения/отправки СМС не требуется переход в 2G/3G сеть. СМС отправляются и доставляются через SGs-интерфейс между MME и MSCs и далее SMS-центр.

Отправка же USSD-сообщений выполняется после перехода терминала в 2G/3G сеть, переход выполняется аналогично случаю "Исходящий звонок".

Очевидным преимуществом данного варианта организации VoLTE является максимальное переиспользование существующей архитектуры и (в отличие от VoLGA) существующих процедур, поскольку для 2G/3G CS Domain весь EPS сегмент, видимый через SGs, представляется всего-лишь еще одним SGSN, а процедуры пейджинга через SGSN, Location Update через SGSN - известны и успешно работают в нынешних сетях.

В качестве недостатка обычно указывается увеличение времени установления соединения, называется минимальная дополнительная задержка в 1.5 секунды.

2.2.2 Voice over LTE Generic Access

Форум VoLGA предложил другое решение. Оно призвано обеспечить голосовые услуги и услуги передачи сообщений через сеть LTE на основе существующих стандартов GSM/UMTS. Идея решения VoLGA состоит в том, что абоненты VoLGA представляются коммутатору MSC обычными абонентами GSM/UMTS. Все необходимые преобразования специфической сигнализации VoLGA и речевых пакетов VoIP в домене LTE в понятную для MSC сигнализацию и речевые каналы с обычным для сетей связи временным разделением выполняет специальный шлюз доступа в сеть VoLGA. С точки зрения MSC этот шлюз – обычный контроллер базовых станций сети GSM BSC (Base Station Controller) или контроллер радиосети UMTS RNC (Radio Network Controller), причем интерфейсы - опять же стандартные A и Iu-CS. Для LTE он представляет собой некое IP-устройство, куда через PDN-GW можно передать сигнальные и трафиковые IP-пакеты по интерфейсу SGi (аналогом этого интерфейса в 2G/3G является Gi-интерфейс, идущий от GGSN во внешний мир). Для работы в сети VoLGA естественным требованием является поддержка процедур и протоколов VoLGA на абонентских устройствах.

Решение VoLGA позволяет операторам использовать установленные коммутаторы MSC без какой-либо их модернизации и предоставлять абонентам весь набор традиционных услуг, доступных с MSC. Однако при всей своей кажущейся привлекательности оно не получило широкого признания в мобильной индустрии. Несмотря на то, что это решение было публично продемонстрировано на последнем Всемирном Конгрессе GSM, архитектура VoLGA фактически перешла в замороженное состояние, особенно после публикации рекомендаций NGMN о применении CSFB. Причина простая: операторы стремятся предотвратить фрагментацию сетей и исключить проблемы с роумингом, неизбежные при реализации несовместимых методов VoLTE.

VoLGA позволяет в значительной степени переиспользовать текущее оборудование 2G/3G сетей, а именно - MSC/MSCs, MGW, HLR/HSS. Радиосеть 2G/3G является необязательной, хотя хэндоверы из/в LTE – поддерживаются. Оборудование, которое должно быть доработано для работы с VoLGA - абонентский терминал. Новый элемент – VANC (VoLGA Access Network Controller). Все остальное оборудование – стандартное [11].

VoLGA базируется на стандартизированном 3GPP решении UMA/GAN (Unlicensed Mobile Access/Generic Access Network).

- Туннелирование сигнализации данных 2G/3G через LTE до VANC через IPsec и далее к MSC (A/Iu);
- Сохраняются традиционные услуги;
- Поддерживается хэндовер (handover - переход) в 2G/3G;

- Поддерживается рядом поставщиков оборудования, но в основном продвигается силами T-Mobile, Alcatel-Lucent, Kineto Wireless и ZTE [12];
- Все услуги предоставляются через LTE/EPS без переключения в CS-домен.

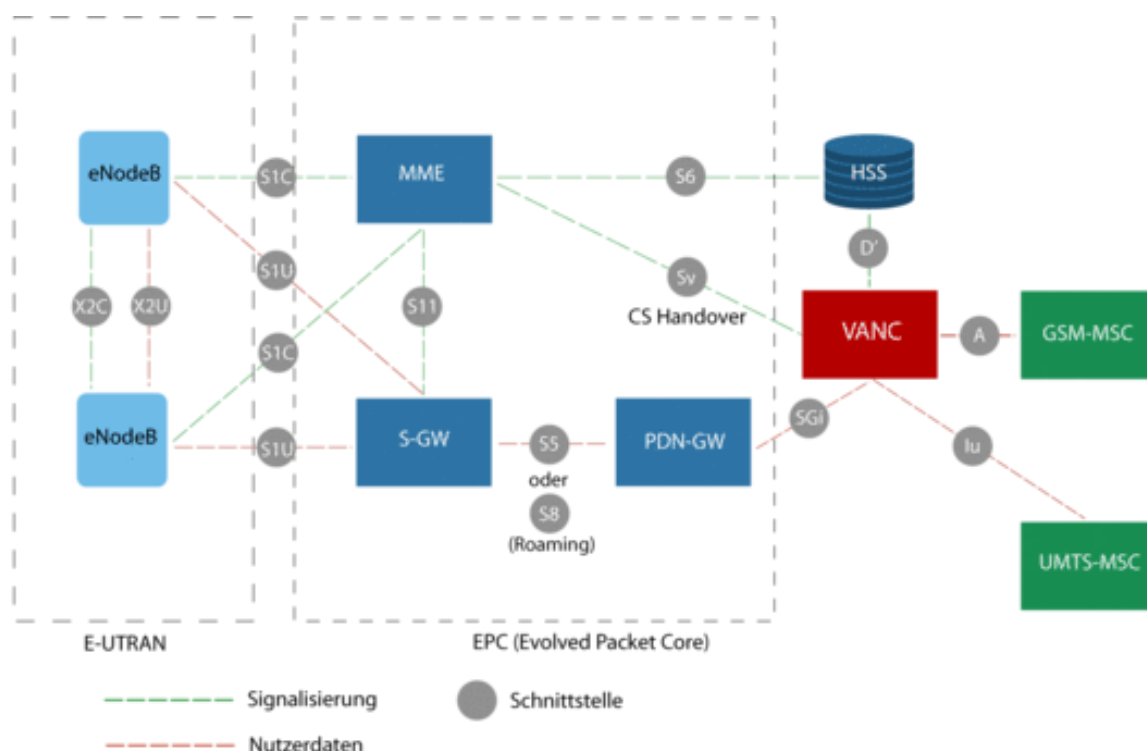


Рисунок 2.2 - Упрощенная схема сети с использованием технологии VoLGA

Регистрация терминала. Сначала терминал регистрируется в сети LTE (конкретно в MME, который функционально напоминает MSC/VLR в 2G/3G). MME обращается в HSS за абонентскими данными, получает их и сохраняет для дальнейшего использования. После успешной регистрации в LTE, терминал инициирует процедуру установления IPsec-туннеля к VANC. Поскольку пакетных сетей (имеются в виду сети, которые соединяются с PDN-GW через интерфейс SGi) может быть несколько, и внутри одной пакетной сети может быть несколько VANC (их, очевидно, и должно быть несколько для разделения нагрузки, надежности и т.д.), существуют следующие процедуры:

- определение PDN, через которую будет предоставляться VoLGA-сервис. В терминале конфигурируется APN для VoLGA, причем отдельно APN для домашней сети, APN для известных визитных сетей и APN для неизвестных (всех остальных) визитных сетей.
- выбор VANC в выбранной PDN. Наиболее простым вариантом является использование DHCP и DNS для получения адреса VANC. VANC

представляет из себя устройство, которое схематично можно разделить пополам, причем левая часть понятна для EPS (Evolved Packet System - опорная сеть LTE), а правая часть - понятна CS Domain. Картинку для VANC мне найти не удалось, однако картинка 3GPP GANC (Generic Access Network Controller) практически не отличается (только вместо стека 802.11 нужно вставить стек LTE).

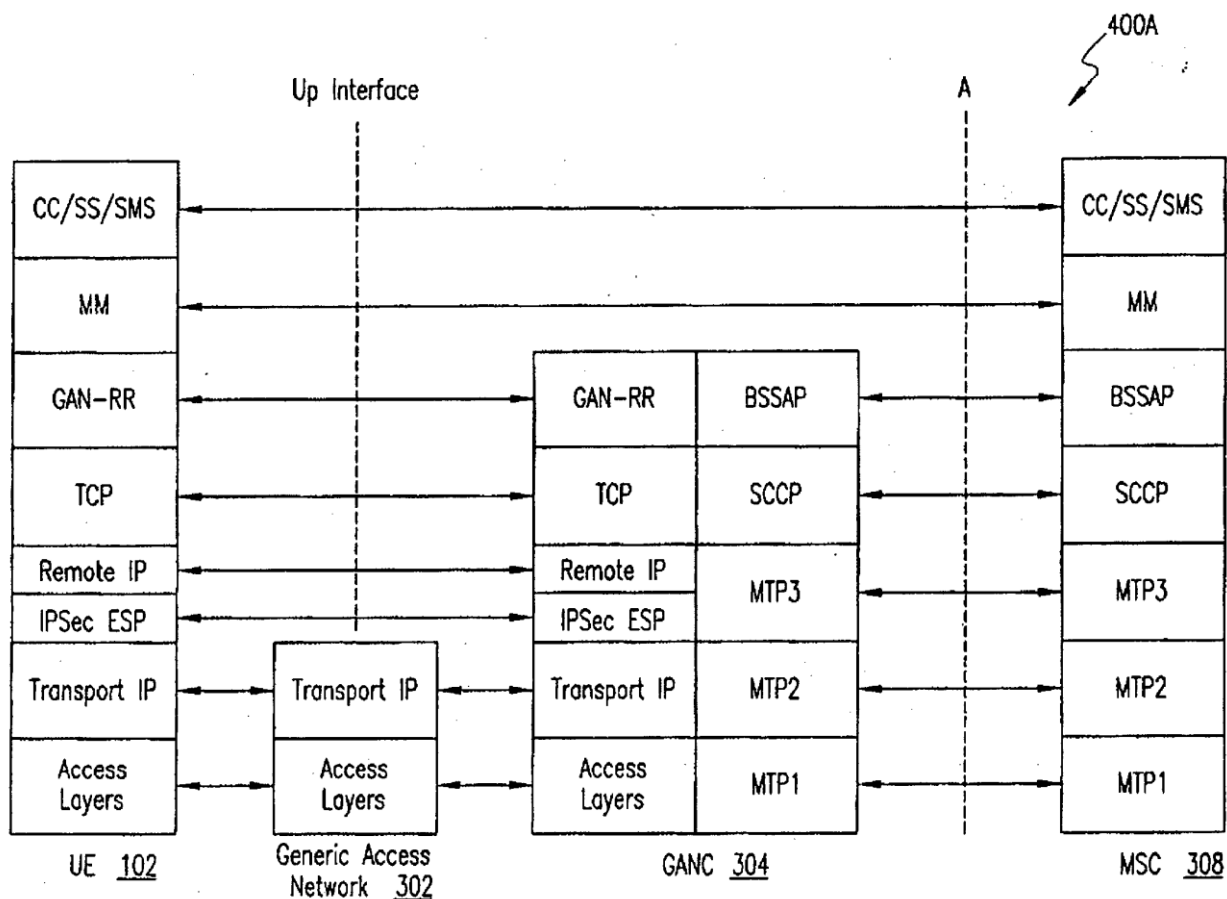


Рисунок 2.3 – Улучшенный стек протоколов для оборудования UMA GAN

После установления IPsec-туннеля через сеть LTE до VANC - терминал инициирует процедуру Location Update в 2G/3G VLR. Терминал общается с MSC/VLR посредством стандартных для GSM/UMTS сообщений Mobility Management, Radio Resource Control, которые упаковываются в IP-пакеты и прозрачно передаются между терминалом и MSC/VLR. Поскольку VLR работает с LAC и Cell_id абонента, а в сети LTE эти параметры не используются - их добавляет VANC на основе своей таблицы соответствия LTE TAI (Tracking area id) и LTE cell_id, которые приходят от терминала, в соответствующие 2G/3G значения.

Входящие и исходящие соединения. Если соединение "терминал - сеть LTE" установлен - терминал начинает обмениваться данными с MSC через

VANC. Если соединение не установлено - сначала устанавливается оно, далее соединение с VANC и потом через VANC начинается обмен с MSC.

С точки зрения MSC - исходящее (Mobile Originating) соединение выглядит как обычное соединение, пришедшее из BSC/RNC, в роли которого выступает VANC. С точки зрения сети LTE, после "невидимого" для LTE сигнального обмена (поскольку он идет по IPSec-туннелю) - устанавливается обычный RTP обмен между терминалом и VANC.

Входящее (Mobile Terminating) соединение также мало чем отличается от обычного в сети 2G/3G. MSC отправляет пейджинговое сообщение в VANC. Если терминал в состоянии "active" - IPSec между VANC и терминалом уже установлен и CS пейджинг доставляется до терминала. Если терминал в состоянии "idle" - сначала устанавливается соединение "терминал - сеть", терминал переходит в состояние "active" и далее аналогично предыдущему случаю.

Хэндовер. VoLGA в полной мере поддерживает хэндовер в 2G/3G. Используется спецификация 3GPP TS 23.216 (Single-Radio Voice Call Continuity). Терминал при регистрации сообщает о поддержке VCC, данная информация сохраняется в MME и используется при принятии решения о необходимости хэндовера. Когда eNodeB (базовая станция LTE) на основании измерений терминалом уровня соседних 2G/3G ячеек принимает решение о необходимости хэндовера, эта информация передается в MME. MME через Sv-интерфейс передает в VANC запрос на хэндовер и информацию о том, кто и куда должен быть передан в рамках хэндовера. VANC транслирует эти данные в MSC, который инициирует стандартную для GSM/UMTS процедуру хэндовера.

Roaming. Терминал просится в визитную LTE-сеть. Если в этой сети запущена VoLGA и в терминале есть настройки этой сети (соответствующий APN, с помощью которого терминал узнает адрес правильной сети PDN. Описано выше в разделе о регистрации) - терминал соединится с местным VANC (местный MME запросит в домашнем HLR необходимые данные по стандартному, для LTE, интерфейсу) и далее с местным VLR, который имеет стандартный интерфейс к домашнему HLR. После этого все будет работать аналогично описанной выше работе в домашней сети. Данный метод (специальный/специальные APN для визитных сетей, соединение с местным VANC) соответствует спецификации 3GPP TS 23.401 (local breakout).

Если в этой сети не запущена VoLGA - голосовые услуги все равно могут быть оказаны через домашний VANC. По APN домашней сети IP-соединение будет установлено к домашнему PDN-GW и далее к домашнему VANC. В этом случае любой исходящий звонок (даже исходящий на локальный номер страны пребывания) будет устанавливаться через домашнюю сеть абонента, что может негативно сказаться на качестве сервиса.

Недостатки. Данное решение не поддерживается и, очевидно, не будет поддерживаться двумя (из трех) ведущими производителями оборудования - Ericsson и Nokia-Siemens Networks. Также данное решение не имеет поддержки в 3GPP, т.е. не является стандартизированным.

Преимущества. Переиспользование существующего GSM/UMTS оборудования без какой-либо доработки.

Стандарт разработан на базе существующего решения (GAN), т.е. многие вопросы уже были проработаны и не потребуют много времени для разработки и внедрения.

Полная поддержка SMS.

Достаточно простое решение для обеспечения международного роуминга.

2.2.3 IMS-based Voice Services

IMS – это инфраструктура на основе протоколов VoIP поверх сети передачи данных LTE/EPC. IMS представляет собой программно-аппаратный комплекс, который является ключевым компонентом практически всех IP-сетей следующего поколения (Next Generation Network, NGN), поддерживающих SIP-приложения, и предназначается для обеспечения стандартизации мультимедийных сервисов во всех взаимосвязанных сетях. Благодаря универсальной архитектуре одна и та же IMS-платформа может быть использована для приложений и услуг в мобильных сетях всех поколений (2G, 3G, 4G), а также в фиксированных сетях.

Причем именно в сетях фиксированной связи концепция IMS появилась первоначально - как инструмент сокращения числа сетей крупных операторов (и, соответственно, расходов) за счет миграции на IP (масштабный проект British Telecom в середине 2000-х). Позже, по мере стремительного старта LTE, основной интерес к IMS сместился в сторону поддержки голосовых (VoLTE) и «расширенных» мультимедийных услуг.

IMS-сеть позволяет создать несколько ключевых механизмов взаимосвязи между сетями вместо создания отдельных соглашений на каждую услугу в отдельности. Это позволяет избежать дублирования функций и снизить издержки операторов.

Одним из важнейших драйверов внедрения IMS является необходимость поддержки голосовых услуг в сетях LTE (VoLTE).

Основные преимущества IMS:

- Обеспечение взаимодействия разного типа сетей;
- Возможность разработки и быстрого внедрения новых услуг, включая VoLTE;
- Обеспечение качества оказания услуг (QoS);
- Точное выставление счетов;
- Снижение затрат на эксплуатацию;

- Масштабируемость решений.

Появление и развитие сетей LTE. Резкий рост потребления мобильного трафика данных, острая конкуренция и высокий спрос на услуги мобильного ШПД требует внедрения дорогостоящих технологий LTE и LTE Advanced. Развитие сетей 4G, в свою очередь, стимулирует операторов к внедрению технологии IMS, поскольку она дает возможность внедрять голосовые услуги на сетях LTE (VoLTE) и другие сервисы.

Архитектура IMS обычно делится на три горизонтальных уровня:

- Транспортный (уровень абонентских устройств и шлюзов);
- Управления вызовами и сеансами (функция CSCF и сервер абонентских данных);
- Уровень приложений [13].



Рисунок 2.4 – Архитектура стандартной IMS-системы

Транспортный уровень организует сеанс связи при помощи сигнализации протокола инициации сеанса и обеспечивает транспортные услуги с конвертированием голоса из аналогового или цифрового сигнала в IP-пакеты использованием протокола RTP.

Уровень управления вызовами и сеансами осуществляет управления сеансами связи.

Уровень услуг содержит набор серверов приложений, которые уже могут не являться элементами IMS, и включает в свой состав как мультимедийные IP-приложения, базирующиеся на протоколе SIP, так и приложения, реализуемые в мобильных сетях на базе виртуальной домашней среды.

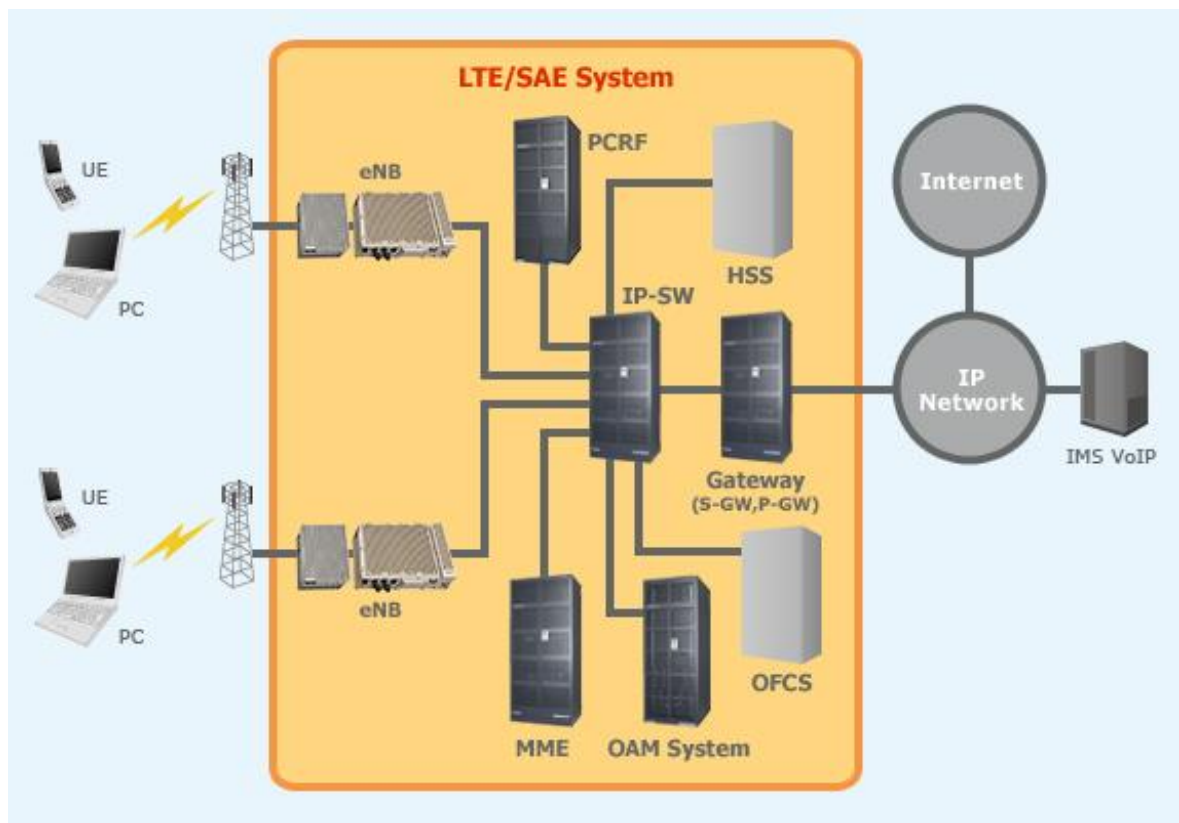


Рисунок 2.5 – Система LTE/SAE

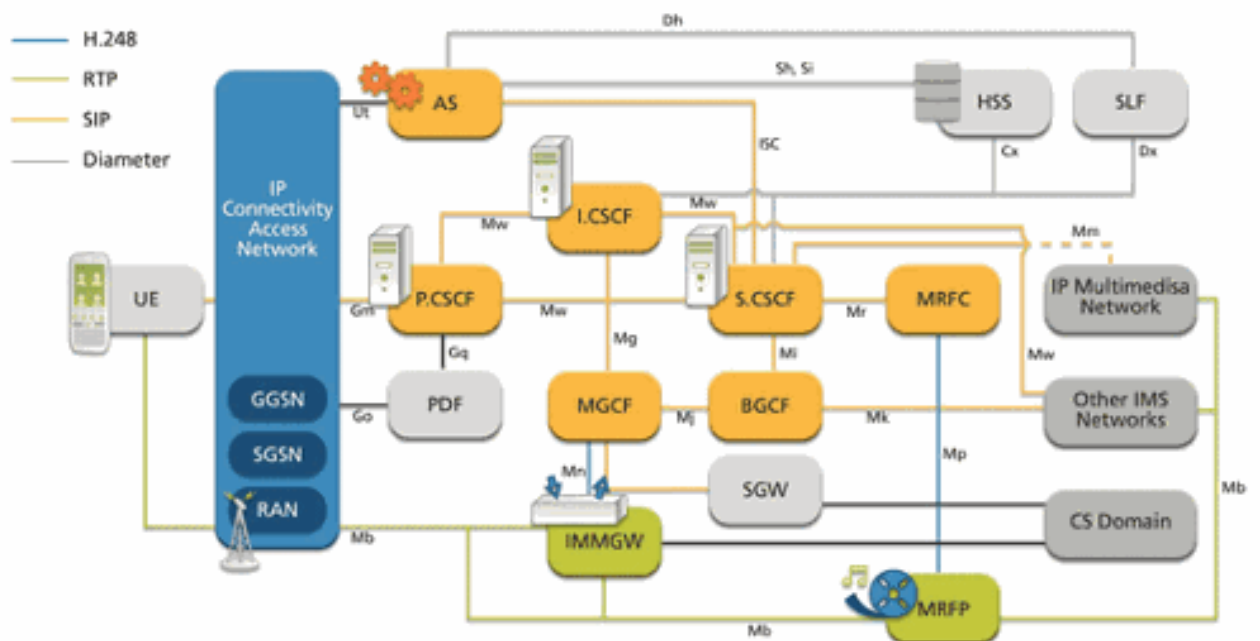


Рисунок 2.6 – Схема построения IMS-системы

Получение IP адреса. IMS по своему названию предполагает постоянную доступность терминала по IP (IP connectivity), т.е. терминал должен получить IP-адрес, по которому с ним можно связаться. В IMS процедуры получения терминалом IP-адреса по сути не изменились (по сравнению с GSM/UMTS), хотя ранее не использовавшиеся механизмы будут более востребованы в IMS. В сетях GSM/UMTS коннективность терминала обеспечивается RAN и SGSN/GGSN. Если абонент в домашней сети - все понятно, если же абонент в визитной сети - в этом случае используется SGSN визитной сети и, как правило, домашний GGSN. Поскольку для любых IP сервисов терминал виден через GGSN - весь трафик к/от терминала идет через домашний.

Этот вариант изображен на рисунке 2.7 справа. С точки зрения IMS не играет роли вид сети доступа, т.е. в случае использования LTE - будет та же картина. Этот вариант даже позволяет предоставлять IMS-сервисы в не-IMS сетях на основе GPRS-роуминга, когда терминал (в соответствии с правой картинкой) имеет коннективность с домашней сетью и значит с IMS-доменом.

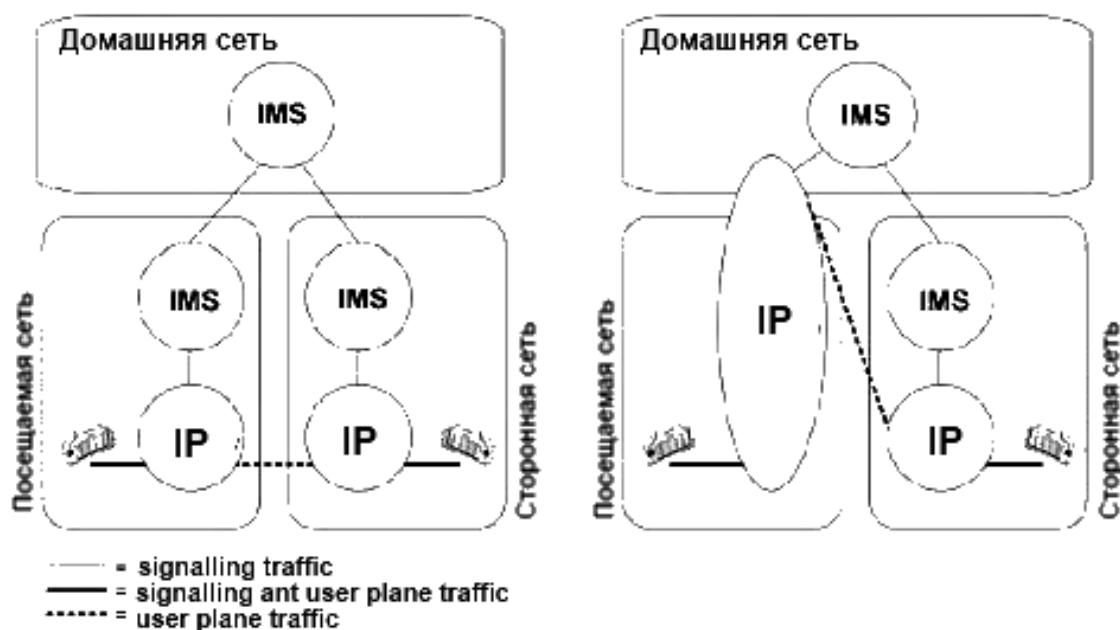


Рисунок 2.7 – Подключение IMS во время роуминга

Вариант на правой картинке отличный, однако гонять пользовательский трафик до домашней сети и обратно - неразумно, неэффективно и просто дорого. Ответом может явиться другой вариант, изображенный на рисунке 2.7 слева, при котором коннективность терминала обеспечивается визитной сетью, т.е. в отличие от предыдущего примера, GGSN тоже визитный. Помимо GGSN, визитная сеть предоставляет точку входа в IMS, визитный P-CSCF, который в свою очередь будет общаться с домашним IMS доменом

абонента. После достижения коннективности терминала, можно начинать процедуру регистрации терминала в IMS домене.

Регистрация терминала в сети. IMS является для сети LTE/SAE одним из многих "внешних" сервисов, работающих поверх IP. Фактически это означает, что терминал выполняет отдельную регистрацию в EPC (Evolved Packet Core) и IMS. Процедура регистрации терминала в EPC одинакова для любых сервисов, работающих over LTE (например для IMS и VoLGA), т.е. запрос на регистрацию приходит в MME, MME идет в HSS, получает данные и происходит регистрация терминала в EPC. После регистрации в EPC, терминал (точнее, IMS приложение на терминале) должен выполнить регистрацию в IMS домене, для чего необходимо определить PDN (Packet Data Network), которая используется для сервиса IMS. В терминале явным образом конфигурируется APN (Access Point Name), с помощью которого определяется необходимая PDN. Далее происходит общение терминала с P-CSCF и регистрация терминала в IMS домене.

Идентификация пользователя. В IMS вводится новый тип карт - ISIM (IMS Services Identity Module). Точнее, вводится новый тип "приложения", которое хранится на UICC (Universal Integrated Circuit Card), при этом на одной UICC теоретически может одновременно присутствовать несколько "приложений".

На карточке с ISIM содержится следующая информация:

- Private User Identity (аналог IMSI в GSM/UMTS)
- Public User Identity (аналог MSISDN в GSM/UMTS), их у абонента может быть несколько;
- Home Network Domain URI - домашний домен пользователя, используется при регистрации карты для определения адреса, на который отправлять запрос о регистрации в сети;
- Long Term Secret - используется для аутентификации и вычисления ключей шифрования.

Очевидно, что наилучшим вариантом в сети IMS является использование ISIM, однако регистрация в IMS возможна и с использованием USIM (обычные SIM не поддерживаются из-за отсутствия Long Term Secret), т.е. наиболее перспективным вариантом будет как раз использование USIM для регистрации одновременно в LTE и в IMS.

Итак, если пользователь регистрируется в IMS с использованием USIM - его терминал перед регистрацией вычисляет из IMSI следующие данные:

- Temporary Private User Identity. Для IMSI = 250251234567890 значение Temporary Private User Identity будет 250251234567890@ims.mnc25.mcc250.3gppnetwork.org (правила пересчета прозрачны и понятны из приведенного примера, TS 23.003);

- Temporary Public User Identity. Значение совпадает с предыдущим, но начинается с "sip:", т.е. sip:250251234567890@ims.mnc25.mcc250.3gppnetwork.org;

- Home Network Domain URI. Аналогично, будет sip:ims.mnc25.mcc250.3gppnetwork.org.

Наконец, есть возможность регистрации в IMS терминала без USIM/ISIM карты. В этом случае используется тот же набор параметров, которые хранятся в так называемом IMC (IMS Credential). IMC не используется, если в терминале стоит ISIM или USIM.

Исходящий/входящий вызов. Документ OneVoice Profile (Annex A) описывает наиболее вероятный способ построения сети оператором, когда этот оператор уже имеет развернутую сеть GSM/UMTS. Согласно OneVoice Profile, терминал должен поддерживать процедуру combined EPS/IMSI attach, т.е. уметь одновременно регистрироваться в GSM/UMTS и LTE доменах. В результате успешной регистрации в обоих доменах - исходящий голосовой вызов может быть установлен как через GSM/UMTS сеть (обычный CS звонок), так и через LTE/IMS сеть (IMS звонок).

Решение о выборе домена (Domain Selection) для исходящего вызова принимается исходя из следующих условий (TS 23.221):

- состояние терминала в CS Domain. Состояние может быть - attached или detached;

- состояние терминала в IMS Domain. Состояние может быть - registered или unregistered;

- домен, использовавшийся для аналогичного сервиса в предыдущий раз;

- пользовательские настройки или операторские ограничения (например, в роуминге абоненту могут быть доступны только CS сервисы).

Нужно понимать, что (в отличии от описываемого далее Terminating Access Domain Selection) выбор домена делает именно терминал, а не сеть.

При выборе домена для входящего на терминал вызова (Terminating Access Domain Selection) дополнительно принимаются во внимание следующие факторы:

- возможности терминала и сети;

- вид и тип используемых во входящем звонке данных.

Т.е. если поступает обычный голосовой звонок (пусть даже из соседнего IMS домена) - его можно передать на терминал как в виде IMS звонка так и в виде обычного CS звонка. При этом, видеозвонок высокого разрешения, например, получится приземлить только через IMS, т.к. возможности UMTS видеозвожков (в том числе разрешение) ограничены стандартом, а значит сеть не сможет передать их через UMTS, а терминал не сможет их принять через UMTS.

Поскольку в нашем случае в наличии у оператора есть CS домен, то между ним и IMS доменом должно быть взаимодействие, по меньшей мере должны осуществляться хэндоверы из одного домена в другой без потери установленных сессий и с возможностью пользования Supplementary Services (дополнительными услугами). OneVoice Profile налагает на сеть оператора требование поддержки TS 23.216 - Single Radio Voice Call Continuity (SRVCC).

Предпосылки внедрения IMS

Конкуренция между существующими операторами мобильной связи остается очень высокой, на рынке происходят активные процессы слияний и поглощений (M&A). Нередко консолидируются компании - провайдеры разного типа услуг (фиксированная и мобильная телефония, мобильная телефония и кабельное телевидение и т.п.). Технология IMS помогает им объединять все типы сетей в одну, реализовать комплекс услуг и сервисов, сочетающий в себе возможности мобильной и фиксированной связи на базе одной платформы (конвергентные услуги) и обеспечить операторам рост ARPU и увеличение доходов.

Очевидной тенденцией мирового рынка телекоммуникаций является рост капитальных затрат операторов.

Считается, что IMS в долгосрочной перспективе позволит операторам сократить капитальные (CAPEX) и операционные (OPEX) затраты за счет использования единой IP-сети и открытой IMS-архитектуры. Кроме того, операторы смогут быстро и с малыми затратами выводить на рынок новые услуги. Однако на начальном этапе внедрения IMS операторам, очевидно, придется увеличить свои затраты.

Мировой рынок оборудования IMS

Основные драйверы и сдерживающие факторы. Согласно данным опроса сервис-провайдеров, проведенного Infonetics Research в 2013 г., ключевыми драйверами внедрения IMS стало развертывание LTE-сетей, а также возможность предоставления на базе IMS конвергентных услуг и создание единого стандарта.

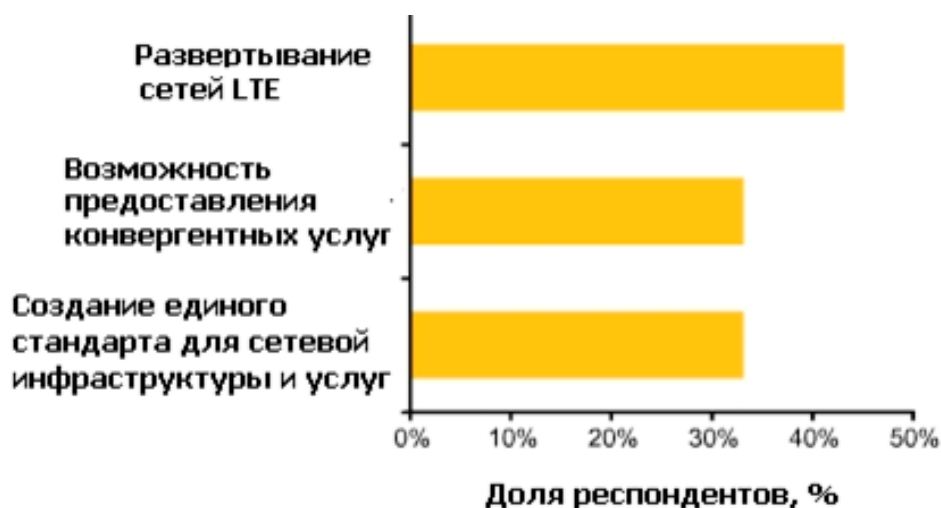


Рисунок 2.8 – Основные драйверы внедрения IMS

Сдерживающие факторы развития:

- развитие OTT-сервисов;
- высокая стоимость и длительность развертывания сети;
- технологические сложности с развертыванием сети;
- сложности в развитии FMC, связанные с законодательным регулированием деятельности;
- мобильных и фиксированных операторов;
- фрагментированность частотного спектра для LTE-сетей.

По прогнозам Alan Quayle, к 2015 г. уже порядка 50% операторов сотовой связи внедрят решение IMS. Наиболее востребованным развертывание сети IMS станет для мобильных операторов – к 2017 г. их доля среди компаний, внедряющих IMS, вырастет с 15% до 50% [14].

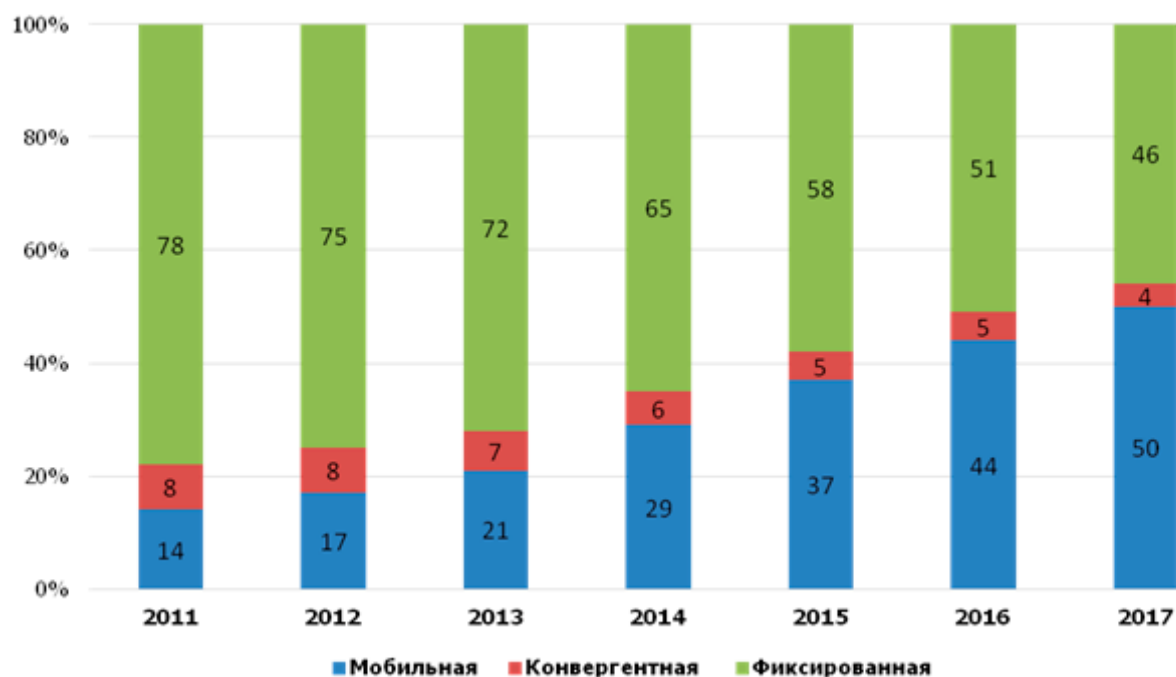


Рисунок 2.9 – Разбивка телекоммуникационных операторов, внедривших или внедряющих IMS, по типу оказываемых услуг

Ключевым фактором стимулирования спроса на дополнительные услуги является простота использования и качество соединения. Согласно опросу, проведенному в конце 2013 г. компанией Cisco, абонентами наиболее востребованы следующие услуги: распознавание речи, передача мультимедиа-контента, перевод голосового сообщения в реальном времени и пр.

2.3 Анализ и сравнение

В работе рассматривалась сеть LTE оператора АО «АЛТЕЛ», организованная в двух регионах Республики Казахстан – в г. Алматы и г. Астана. Сеть состоит из более 350 базовых станций в Алматы, и более 210 – в Астане. Главная часть (EPC – Evolved Packet Core) находится в Алматы и связана со станциями посредством сети МВН (Mobile Backhaul) компании АО «Казахтелеком». Также АО «АЛТЕЛ» имеет полностью развернутую сеть третьего поколения с покрытием в этих же городах.

На основе этих данных определим наиболее подходящее решение реализации голосовых услуг в сети.

В таблице 1 приведены основные недостатки и преимущества рассматриваемых технологий, которые повлияют на выбор.

Т а б л и ц а 1 – Сравнение решений для передачи голоса в LTE

	CS Fallback	VoLGA	IMS
Преимущества	Переиспользование существующего оборудования - MSC/VLR Работает в 2G/3G	Переиспользование существующего GSM/UMTS оборудования без какой-либо доработки Достаточно простое решение для обеспечения международного роуминга Все услуги предоставляются через LTE/EPS без переключения в CS-домен	Переход к IP-протоколам при передаче всех видов трафика, в том числе голосового; Отсутствие необходимости использования двух портов абонентской емкости для предоставления услуг телефонии и передачи данных; Предоставление новых услуг и традиционных телефонных услуг абонентам
Недостатки	Нагрузка на MME Модернизация MME, MSC Заметное увеличение задержки при установлении голосового соединения Задержка перехода терминала обратно в сеть LTE после завершения вызова	Данное решение не поддерживается ведущими производителями оборудования Не имеет поддержки в 3GPP Требуются новые процедуры и оборудование На абонентском оборудовании нужен специальный софт клиент	Технология требует больших вложений Сложная реализация внедрения всей системы IMS Нет поддержки мобильности 2G/3G

Различия в реализации поддержки голосовых вызовов в сетях 4G (LTE) - один из факторов, задерживающих их широкое распространение по всему миру. Поскольку вендоры заинтересованы в продвижении "своего", разработанного компанией, или принятого за образец варианта реализации, полнотой представлений в области того, какие есть варианты, обладают не все специалисты операторов сотовой связи.

VoLGA и CSFB - это попытка предоставить голосовые сервисы путем возврата к более не нужному в all-IP сети CS домену. Зачем это планируется - понятно. Это и переиспользование существующего оборудования, и ясные и отработанные годами механизмы интерконнекта и роуминга, возможность безболезненной интеграции различных сервисов, которые есть и работают сейчас, и простота и прозрачность в обеспечении межсистемных хэндоверов из LTE в UMTS/GSM и т.д.

Проанализировав ситуацию, становится понятным, что использование IMS –единственное решение для долгосрочной перспективы, которое сможет в полной мере раскрыть потенциал новых all-IP сетей. Данную систему можно будет внедрять только после сплошного покрытия сетью LTE, что в ближайшее время - нереализуемо.

Проблемы в разворачивании IMS не только в технических аспектах, но и в смене взглядов во всей индустрии - отказ от коммутации каналов и полный переход на IP. А это миграция сервисов, политик и взаимодействий с традиционными сетями.

Технология VoLGA сложна в реализации по сравнению с CSFB. Для внедрения VoLGA необходимо новое оборудование, в то время как для CSFB – только модернизация существующего оборудования. Также VoLGA не стандартизирована и не поддерживается двумя ведущими производителями оборудования (из трех) - Ericsson и Nokia-Siemens Networks. Использует её на данный момент только один оператор - T-Mobile. Из этого следует, что у технологии нет перспектив, и как вариант, он – неподходящий.

Обладая развернутой сетью третьего поколения, для ближней перспективы предлагается наиболее оптимальный подход к передаче голоса через LTE - использование CSFB. Для оператора такой эволюционный подход обеспечит плавный переход к сети следующего поколения и позволит сохранить абонентов, пользующихся сетью предыдущего поколения.

3 Экспериментальная часть

Выбранная технология имеет важный недостаток – задержка перед установлением голосового соединения. Именно величина задержки и возможные факторы, влияющие на нее, экспериментально исследуется в работе.

Т а б л и ц а 2 – Результаты расчета времени установления исходящего вызова

Тип сети	UMTS	GSM
Обычный вызов	4000 мс	3900 мс
Вызов с CSFB	6530 мс	6460 мс

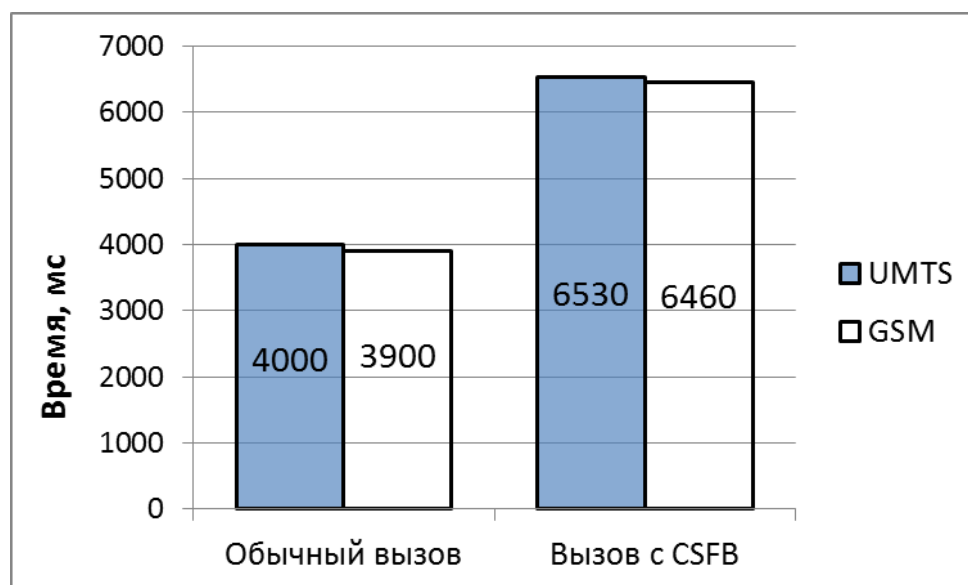


Рисунок 3.2 – Время установления исходящего вызова

Т а б л и ц а 3 – Результаты расчета времени установления входящего вызова

Тип сети	UMTS	GSM
Обычный вызов	2640 мс	2500 мс
Вызов с CSFB	5170 мс	5060 мс

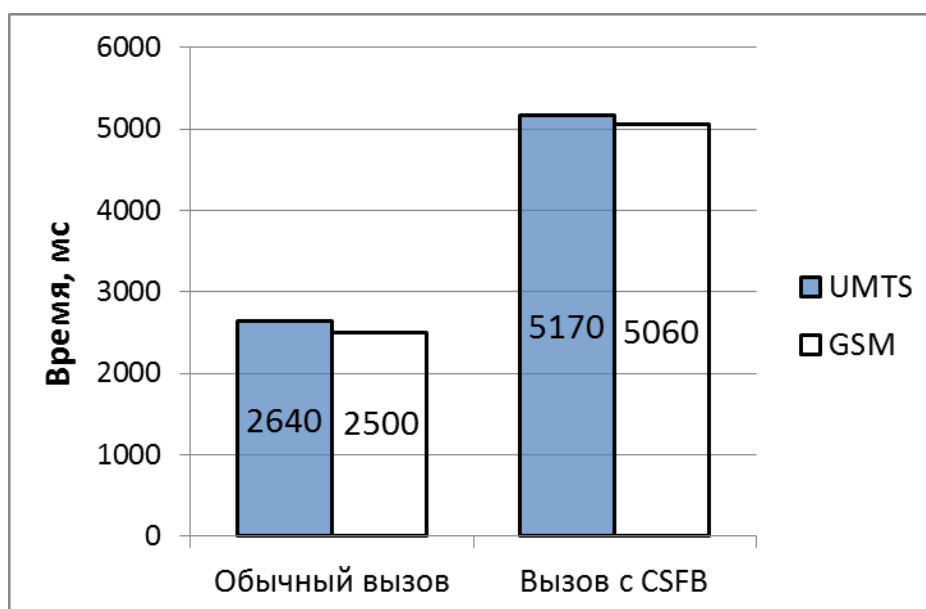


Рисунок 3.3 – Время установления входящего вызова

Из рисунков 3.2, 3.3 видно, что с применением технологии CSFB установка голосового соединения происходит дольше на 2.5 секунды, вне зависимости от направления вызова и типа сети, на которую происходит переключение вызова.

На рисунке 3 изображена загруженность одного из каналов сети LTE оператора АО «АЛТЕЛ» за сутки.

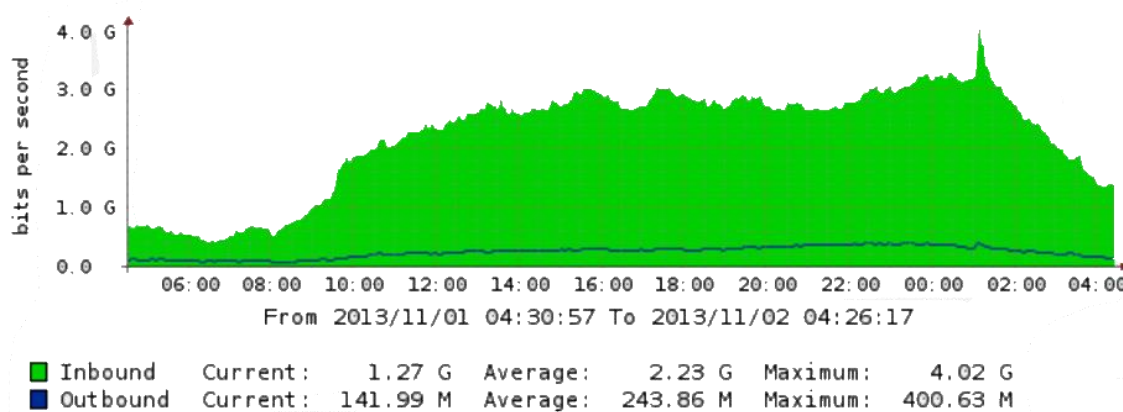


Рисунок 3.4 – загруженность канала сети LTE оператора АО «АЛТЕЛ»

Из рисунка 3.4 видно, что загруженность сети зависит от времени суток.

Для построения зависимости, в моменты максимальной, минимальной и средней загруженности сети были произведены 5 измерений и рассчитана задержка установления исходящего голосового соединения.

В таблице 4 отображены результаты измерений и расчета задержки, а также математического ожидания и отклонения.

Т а б л и ц а 4 – Результаты измерения и расчета задержки в различное время суток

Время измерения	Загруженность, Гбит/с	Рез-тат 1, мс	Рез-тат 2, мс	Рез-тат 3, мс	Рез-тат 4, мс	Рез-тат 5, мс	Мат. Ожид., мс	Мат. Откл., %
6:30	0,50	2530	2530	2531	2531	2529	2530,2	0,84
8:30	0,75	2532	2530	2532	2531	2532	2531,4	0,89
10:30	2,00	2534	2533	2532	2535	2533	2533,4	1,14
14:00	2,50	2535	2537	2536	2538	2534	2536	1,58
18:00	2,90	2538	2537	2539	2538	2537	2537,8	0,84
1:00	3,20	2539	2538	2539	2538	2537	2538,2	0,84
1:07	3,70	2540	2541	2540	2542	2540	2540,6	0,89
1:15	4,10	2543	2545	2542	2544	2544	2543,6	1,14

На рисунке 3.5 изображена зависимость задержки от загруженности сети на основании данных таблицы 4.

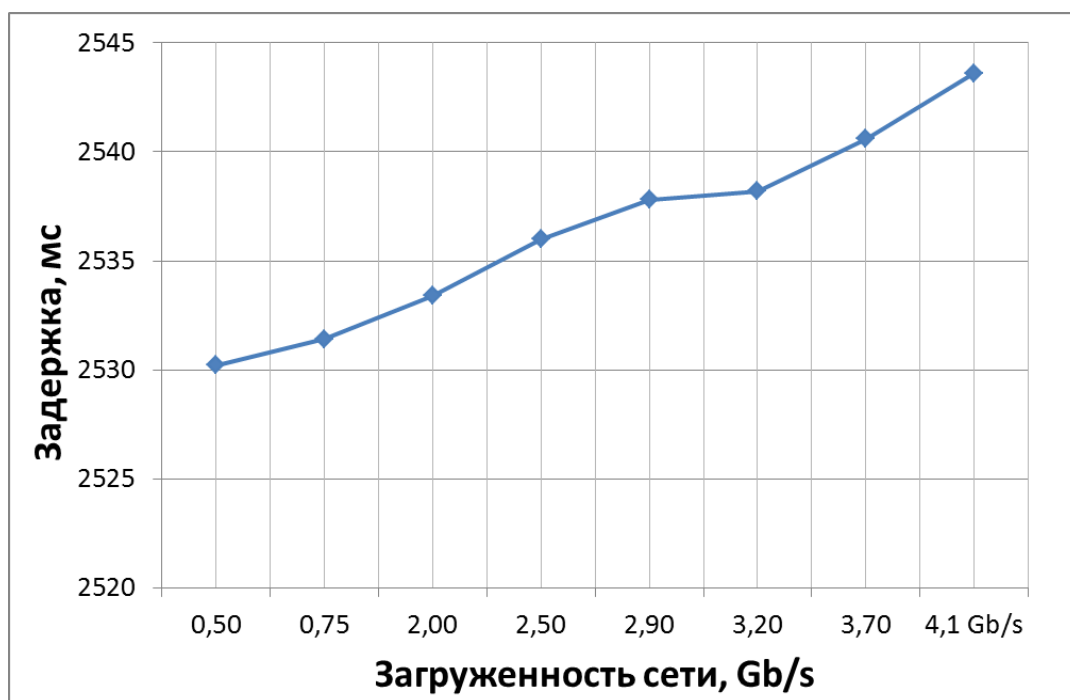


Рисунок 3.5 – Зависимость задержки установления голосового соединения от загруженности сети

Из рисунка 3.5 видно, что с увеличением загруженности, увеличивается и задержка. Время, которое необходимо для установления голосового соединения увеличивается (меньше 1%), но изменения настолько малы, что

незаметны для абонента. Из этого следует, что такой фактор, как загруженности сети, незначительно влияет на задержку.

Время установления голосового соединения с применением технологии CSFB увеличилось с 4 до 6,5 секунд, вне зависимости от типа сети, на которую происходит переключение вызова. Нет никаких данных, доставит ли эти 2.5 секунды задержки неудобства для абонентов. Но и для этого возможного недостатка компания HUAWEI разрабатывает новый стандарт ULTA-flash CSFB. По заявлению разработчиков, стандарт намного уменьшит время установления голосового соединения (на 20% меньше чем в традиционных сетях) благодаря вводу нового интерфейса.

4 Расчет технологических характеристик сети

4.1 Эффективность использования полосы пропускания

4.1.1 Коэффициент ACLR

Необходим для того, чтобы вычислить эффективность использования полосы пропускания за счет искажений и влияния боковых составляющих спектра [8]. Эффективность использования полосы пропускания за счет ACLR, η_{ACLR} , рассчитывается как:

$$\eta_{ACLR} = \frac{(N_{SC}^{DL} - 1) \cdot \Delta f}{B} \quad (4.1)$$

где: N_{SC}^{DL} - количество ресурсных блоков в зависимости от Δf

Δf - частотный разнос, кГц

B - ширина полосы пропускания, кГц

$$\eta_{ACLR} = \frac{(100 - 1) \cdot 15KHz}{18000KHz} = 0.825$$

4.1.2 Структура OFDM с циклическим заголовком

Рисунок 4.1 иллюстрирует, как циклический префикс, прибавляемый в начале OFDM символа с периодом времени T_{cp} , влияет на длительность передаваемой в 1 TS информации. Исходя из этого полная длина OFDM символа – это сумма T_{cp} и T_u .

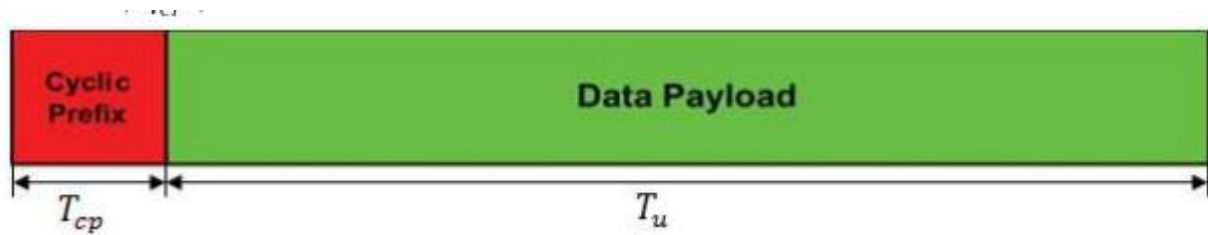


Рисунок 4.1 – Структура символа OFDM

Поэтому эффективность использования полосы вследствие циклического заголовка рассчитывается:

$$\eta_{CP} = 1 - \frac{T_{slot} - N_{symp}^{DL} \cdot T_u}{T_{slot}} = \frac{N_{symp}^{DL} \cdot T_u}{T_{slot}} \quad (4.2)$$

где $T_u = 1/\Delta f = 1/15 \text{ кГц} = 66.7 \text{ мкс}$ – длительность T_u

$N_{symp}^{DL} = 7$ - количество OFDM символов на 1 подканал

T_{slot} - длительность 1 TS

$$\eta_{CP} = \frac{7 \cdot 66.7 \cdot 10^{-6}}{0.5 \cdot 10^{-3}} = 0.934$$

4.1.3 Заголовки контрольных (опорных) символов

Контрольные символы добавляются во время передачи OFDM/ SC-FDM. Плотность символов зависит от числа передатчиков, используемых в антеннах ММО. Эффективность использования полосы пропускания за счет добавления контрольных символов в нисходящем канале вычисляется [8].

$$\eta_{RS_DL} = \begin{cases} 1 - \frac{4r}{N_{SC}^{RB} \cdot N_{symp}^{DL}} = 1 - \frac{r}{21} & r = 1, 2 \\ 1 - \frac{2r + 4}{N_{SC}^{RB} \cdot N_{symp}^{DL}} = 1 - \frac{r + 2}{42} & r = 3, 4 \end{cases} \quad (4.3)$$

где r - число передающих антенн

$N_{symp}^{DL} = 7$ - количество OFDM символов на 1 подканал

$N_{SC}^{RB} = 12$ - размер ресурсного блока

$$\eta_{RS_DL} = \begin{cases} 0.952 \\ 0.905 \\ 0.881 \\ 0.857 \end{cases} \quad (4.4)$$

В направлении от абонента к базовой станции, контрольный символ передается в каждом 4 символе восходящего слота, как показано на рисунке 4.2.

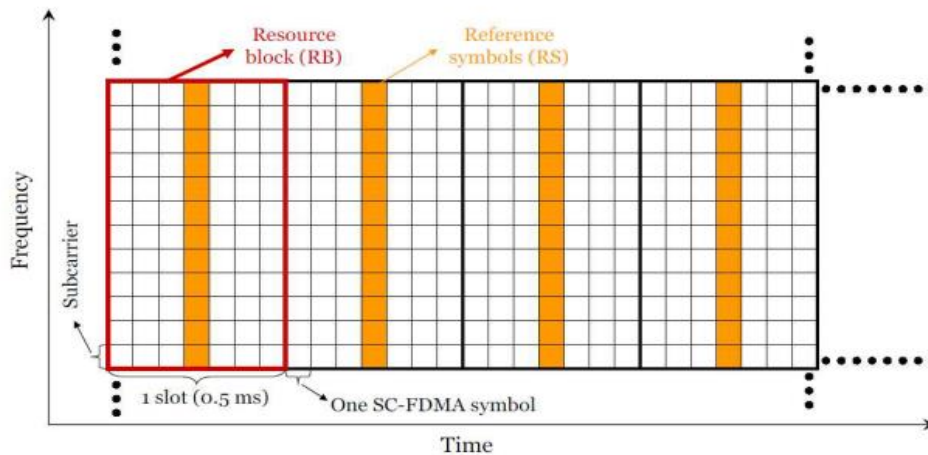


Рисунок 4.2 – Структура опорного сигнала направления вверх

$$\eta_{RS_UL} = 1 - \frac{N_{SC}^{RB}}{N_{SC}^{RB} \cdot N_{symb}^{UL}} = 1 - \frac{1}{N_{symb}^{UL}} \approx 0,86$$

4.1.4 Заголовки символов синхронизации

Как изображено на рисунке 4.3, 2 синхросигнала первичный (PSS) и вторичный (SSS) используются для синхронизации как в TDM, так и в FDM. Синхросимволы содержат 4 OFDM символа каждые 10 мс радиокadra. PSS и SSS передаются в центральных шести ресурсных блоках, позволяя частоте синхронизации быть инвариантной по отношению к пропускной способности системы. Первичные и вторичные синхросимволы каждый состоят из последовательности длиной 62 символов, и отображаются в центральных 62 поднесущих. Пять ресурсных элементов на каждой конечности каждой синхронизации последовательности не используются. Так эффективность использования полосы пропускания за счет заголовков синхронизации сигналов, включая неиспользуемые элементные ресурсы, рассчитываются:

$$\eta_{Sync_DL} = 1 - \frac{4 \times 6 \times N_{SC}^{RB}}{20 \times n \times N_{SC}^{RB} \times N_{symb}^{DL}} = 1 - \frac{6}{35n} \quad n = 6, 15, 25, 50, 75, 100 \quad (4.5)$$

где $N_{symb}^{DL} = 7$ - количество OFDM символов на 1 подканал

$N_{SC}^{RB} = 12$ - размер ресурсного блока

n – количество ресурсных блоков

$$\eta_{Sync_DL} = 1 - \frac{6}{35 \cdot 100} = 0.998$$

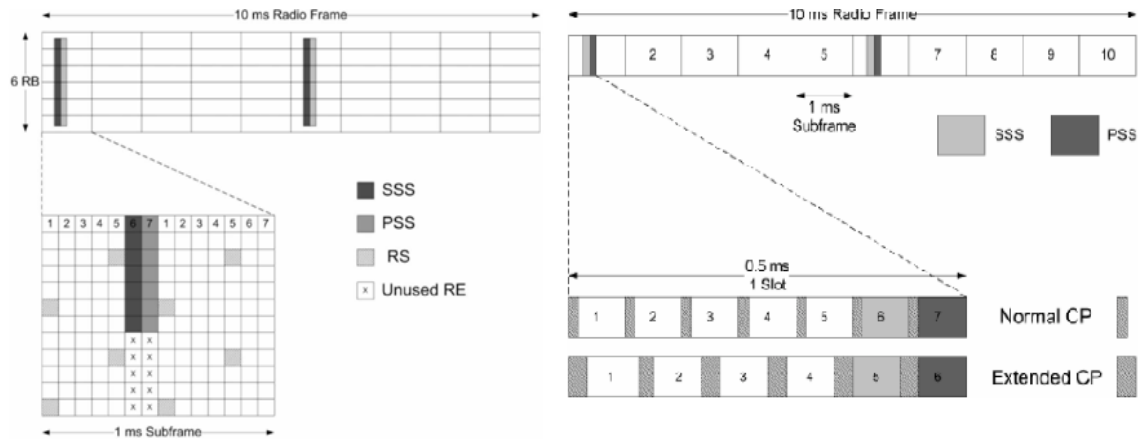


Рисунок 4.3 – Структура кадра и слота PSS SSS в частотно-временной области

4.1.5 Заголовки PBCH

PBCH канал используется для передачи главного информационного блока и распространения broadcast пакета системной информации во всю сеть [8].

PBCH передается в первых четырех символах OFDM второго слота нулевого подкадра и только в центральных 72 поднесущих каждого радио кадра, как показано на рисунке 4.4, независимо от используемой системной полосы пропускания. Так эффективность использования полосы пропускания за счет заголовков PBCH рассчитывается как

$$\eta_{Sync_DL} = 1 - \frac{72 \times 6}{20 \cdot n \cdot N_{SC}^{RB} \cdot N_{symp}^{DL}} = 1 - \frac{6}{35n} \quad (4.6)$$

где $N_{symp}^{DL} = 7$ - количество OFDM символов на 1 подканал

$N_{SC}^{RB} = 12$ - размер ресурсного блока

n - количество ресурсных блоков

$$\eta_{BCH_DL} = 0.998$$

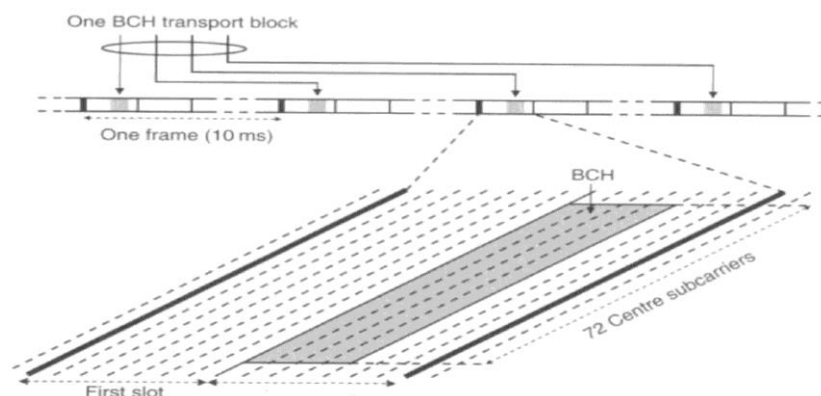


Рисунок 4.4 – Структура кадра и слота BCH в частотно-временной области

Временно-частотный ресурс, в котором передается преамбула случайного доступа, называется физическим каналом случайного доступа (PRACH). Подкадр зарезервирован для передачи преамбулы, так как основной единицей времени передачи информации в LTE является 1 мс, в соответствии с рисунком 4.4

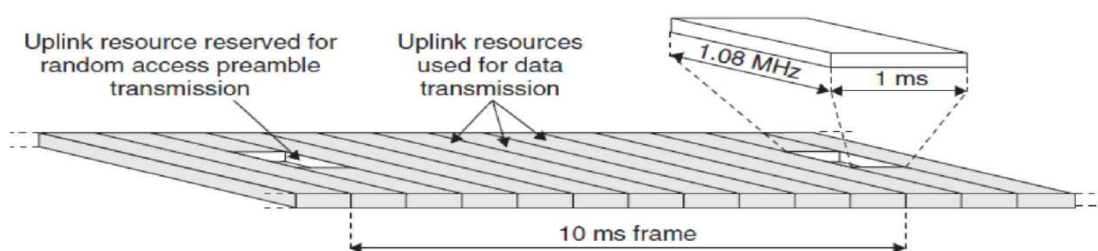


Рисунок 4.5 – Представление преамбулы случайного доступа

В частотной области, преамбула случайного доступа имеет полосу пропускания шести ресурсных блоков (1.08 МГц). Это соответствует наименьшему значению полосы пропускания в 6 ресурсных блоков, на которых может работать технология LTE. Поэтому данная преамбула используется, независимо от полосы пропускания, используемой в соте. Для большего распределения спектра, в частотной области используется несколько ресурсов случайного доступа, обеспечивая увеличение мощности. Поэтому заголовки PRACH зависят от полосы, на которой работает система. Каждая преамбула передается раз в 10 мс кадра. Отсюда эффективность использования полосы пропускания за счет PRACH [8]

$$\eta_{Sync_DL} = 1 - \frac{6 \times 2 \times N_{SC}^{RB} \cdot N_{symp}^{UL}}{20 \times n \cdot N_{SC}^{RB} \cdot N_{symp}^{DL}} = 1 - \frac{3}{5n} \quad (4.7)$$

где $N_{symb}^{DL} = 7$ - количество OFDM символов на 1 подканал
 $N_{SC}^{RB} = 12$ - размер ресурсного блока
 n - количество ресурсных блоков

$$\eta_{RAP_DL} = 1 - \frac{3}{500} = 0.994$$

4.1.6 Контрольные сигнальные заголовки слоев L1/L2

Для передачи транспортных каналов по восходящему и нисходящему каналам, существует необходимость в определенном управлении сигнализацией.

Этот элемент управления сигнализацией часто называют нисходящей и восходящей L1/L2 сигнализацией управления, указывая, что информация отчасти возникла из физического уровня и MAC уровня. В нисходящем направлении, заголовки сигнализации управления в основном связаны с передачей нисходящих транспортных каналов, таких как нисходящий общий канал передачи (DL-SCH). Контроль нисходящей L1/L2 сигнализации передается в течение первой части (до трех символов OFDM) каждой 1 мс подкадра. Размер этой области управления, то есть число OFDM символов, может быть динамически изменяться, чтобы удовлетворять требованиям ситуации передачи информации в определенный момент. Учитывая заголовки контрольных символов, подсчитанных ранее, излишки заголовков не учитываются, эффективность полосы рассчитывается как

$$\eta_{sync_DL} = 1 - \frac{3N_{SC}^{RB}}{2 \times N_{SC}^{RB} \times N_{symb}^{DL} - 2r} \approx 0,78 \quad r = 1, 2, 3, 4 \quad (4.8)$$

где $N_{symb}^{DL} = 7$ - количество OFDM символов на 1 подканал.
 $N_{SC}^{RB} = 12$ - размер ресурсного блока
 n - количество ресурсных блоков
 r - количество передатчиков на секторе

$$\eta_{sync_DL} = \begin{cases} 0.783 \\ 0.780 \\ 0.777 \\ 0.775 \end{cases}$$

В восходящем направлении, L1/L2 сигнализации управления в основном происходят в канале PUSCH и PUSCH. Первый содержит трафиковую информацию в восходящем направлении, а второй информацию управления. В данной работе, для простоты, в L1/L2 сигнализации управления

учитываются только заголовки PUSCH.

На рисунке 4.6 показано, как L1/L2 сигнализация управления состоит из 12 поднесущих (1 ресурсный блок) в начальной части спектра первого слота подкадра и такой же в нижней части спектра во втором слоте подкадра или наоборот. Поэтому эффективность зависит от полосы пропускания при передаче и рассчитывается:

$$\eta_{Sync_DL} = 1 - \frac{2 \cdot N_{SC}^{RB} \cdot N_{symp}^{UL}}{20 \cdot n \cdot N_{SC}^{RB} \cdot N_{symp}^{DL}} = 1 - \frac{1}{n} \quad (4.9)$$

где $N_{symp}^{DL} = N_{symp}^{UL} = 7$ - количество OFDM символов на 1 подканал в направлении Downlink и Uplink

$N_{SC}^{RB} = 12$ - размер ресурсного блока

n - количество ресурсных блоков

$$\eta_{L1/L2_UL} = 1 - \frac{1}{100} = 0.99$$

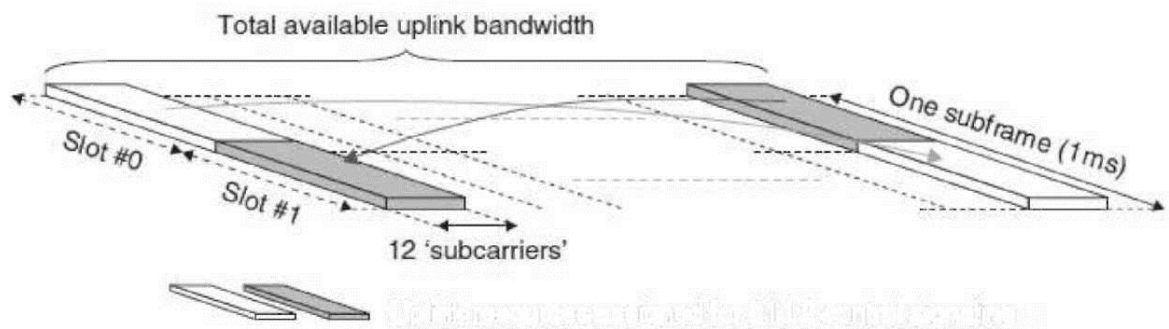


Рисунок 4.6- Представление L1/L2 сигнализации управления

4.1.7 Итоговая эффективность использования полосы пропускания

Рассчитанные эффективности с пунктов с 1 по 3 относятся к эффективности канального уровня, а с 4 по 7- к эффективности системного уровня. Конечный результат эффективности полосы пропускания канального и системного уровня вычисляется

$$\eta_{BW_DL_LIK} = 0.749 \cdot 0.934 \cdot 0.905 = 0.633,$$

$$\eta_{BW_DL_SYS} = 0.749 \cdot 0.934 \cdot 0.905 \cdot 0.998 \cdot 0.998 \cdot 0.78 = 0.492$$

$$\eta_{BW_UL_LIK} = 0.934 \cdot 0.86 = 0.803,$$

$$\eta_{BW_UL_LIK} = 0.934 \cdot 0.86 \cdot 0.994 \cdot 0.99 = 0.79$$

Т а б л и ц а 4.1 – Эффективность использования п/п DL

Эффективность полосы пропускания	Число антенн			
	1	2	3	4
η_{ACLR}	0.749			
η_{CP}	0.934			
η_{RS_DL}	0.952	0.905	0.881	0.857
η_{Sync_DL}	0.998			
η_{BCH_DL}	0.998			
$\eta_{L1/L2_DL}$	0.78	0,780	0,777	0,775
$\eta_{BW_DL_LIK}$	0.666	0.633	0.616	0.6
$\eta_{BW_DL_SYS}$	0.517	0.492	0.479	0.466

Т а б л и ц а 4.2 - Эффективность использования п/п UL

Эффективность полосы пропускания	Результаты
η_{CP}	0.934
η_{RS_UL}	0.86
η_{RAP_UL}	0.994
$\eta_{L1/L2_UL}$	0.99
$\eta_{BW_JUL_LIK}$	0.803
$\eta_{BW_JUL_SYS}$	0.79

4.2 Расчет эффективности мощности и уровня сигнал/шум

4.2.1 Прямое соединение

Эффективная мощность излучения трафик канала

$$P_t = \frac{P_t}{N_t C_f} \quad \text{или} \quad (4.10)$$

$$p_t = P_t - 10 \log N_t - 10 \log C_f \quad (4.11)$$

где P_t - ЭМИ всех трафик каналов от передающей антенны БС (дБм)

N_t - число трафик каналов поддерживаемое одной станцией

C_f - коэффициент активности речи

$$p_t = 46 - 10 \cdot \log(803) - 10 \cdot \log(0.55) = 19.549 \text{ дБм}$$

Мощность, приходящаяся на одного абонента (мобильную станцию МС)

$$p_u = p_t - G_t - L_C = 20.044 - 16 - 1.5 = 2.049 \text{ дБм}$$

где p_u - мощность в трафик-канале на одного абонента

G_t - коэффициент усиления передающей антенны БС (дБ)

L_C - потери в фидере БС (дБ)

Полная мощность базовой станции

$$P_C = 10 \log [10^{0.1P_t} + 10^{0.1P_s} + 10^{0.1P_p} + 10^{0.1P_{pg}}] \quad (4.12)$$

$$P_C = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot 46} + 10^{0.1 \cdot (-122.1)} + 10^{0.1 \cdot 7.36} + 10^{0.1 \cdot 9.2}) = 46.002 \text{ дБм}$$

где P_C - полная мощность базовой станции

p_s - мощность канала синхронизации (дБм)

p_p - мощность пилот-канала (дБм)

p_{pg} - мощность канала оповещения (дБм)

Усилитель мощности базовой станции:

$$P_a = P_C - G_t - L_C \quad (4.13)$$

где P_a - Полная мощность всех трафик-каналов, пилот-канала, поискового канала, и канала синхронизации на выходе усилителя (дБм);

P_C - Полная излучаемая мощность базовой станции (дБм).

$$P_a = P_C - G_t - L_C = 46.002 - 16 - 0 = 28.502 \text{ дБм}$$

Полная мощность, принятая мобильной станцией

$$p_m = P_C + L_p + A_t + G_m + L_m \quad (4.14)$$

где p_m - полная мощность принятая мобильной станцией (дБм)

L_p - средние потери на трассе между БС и МС (дБ)

A_t - допуск на теневые потери (дБ)

G_m - коэффициент усиления (на приеме) антенны МС (дБ)

L_m - потери в кабеле МС (дБ)

$$p_m = P_C + L_P + A_l + G_m + L_m = 46.002 - 14.2 - 12.2 + 1 - 0.05 = 31.802 \text{ дБм}$$

Принятая мощность трафик-канала

$$p_{tr} = p_t + L_P + A_l + G_m + L_m \quad (4.15)$$

где p_{tr} - принятая МС мощность трафик-канала от БС (дБм)

$$p_{tr} = p_t + L_P + A_l + G_m + L_m = 19.549 - 3 - 12.2 + 1 - 0 = 5.349 \text{ дБм}$$

Принятая мощность пилот-канала

$$p_{pr} = P_p + L_P + A_l + G_m + L_m \quad (4.16)$$

где p_{pr} - принятая МС мощность пилот-канала от БС (дБм)

$$p_{pr} = P_p + L_P + A_l + G_m + L_m = 7.36 - 3 - 6.2 + 1 - 0 = -6.84 \text{ дБм}$$

Принятая мощность поискового канала

$$p_{pgr} = p_{pg} + L_P + A_l + G_m + L_m \quad (4.17)$$

где p_{pgr} - принятая МС мощность поискового канала от БС (дБм)

$$p_{pgr} = p_{pg} + L_P + A_l + G_m + L_m = 46.002 - 3 - 12.2 + 1 - 0 = -5 \text{ дБм}$$

Принятая мощность канала синхронизации

$$p_{sr} = p_s + L_P + A_l + G_m + L_m \quad (4.18)$$

где p_{sr} - принятая МС мощность канала синхронизации от БС (дБм)

$$p_{sr} = p_s + L_P + A_l + G_m + L_m = -122.1 - 3 - 6.2 + 1 - 0 = -136.3 \text{ дБм}$$

Интерференция от других пользователей

$$I_{ut} = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot P_m} - 10^{0.1 \cdot P_r}) - 10 \cdot \log(B_w) \quad (4.19)$$

где I_{ut} - плотность интерференции, создаваемой другими абонентами, в трафик-канале (дБм/Гц)

B_w - ширина канала (Гц)

$$I_{ut} = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot P_m} - 10^{0.1 \cdot P_r}) - 10 \cdot \log(B_w) = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot (31.802)} - 10^{0.1 \cdot (-5.349)}) - 10 \cdot \log(20 \cdot 10^6) = -41.219 \text{ дБм / Гц}$$

Интерференция, создаваемая другими БС в трафик-канале

$$I_{ct} = I_{ut} + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{f_r} - 1\right) \quad (4.20)$$

где I_{ct} - плотность интерференции, создаваемой другими БС, в трафик-канале (дБм/Гц)

f_r - коэффициент переиспользования частоты (0.65)

$$I_{ct} = I_{ut} + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{f_r} - 1\right) = -41.219 + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{0.65} - 1\right) = -43.907 \text{ дБм / Гц}$$

Плотность интерференции для трафик-канала

$$I_t = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot I_{ut}} + 10^{0.1 \cdot I_{ct}}) \quad (4.21)$$

где I_t - плотность интерференции в канале трафика (дБм/Гц)

$$I_t = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot I_{ut}} + 10^{0.1 \cdot I_{ct}}) = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot (-41.219)} + 10^{0.1 \cdot (-43.907)}) = -39.338 \text{ дБм / Гц}$$

Интерференция от других абонентов (той же БС) в пилот-канале

$$I_{up} = p_m - 10 \cdot \log(B_w) \quad (4.22)$$

где I_{up} - плотность интерференции от других абонентов в пилот-канале

$$I_{up} = p_m - 10 \cdot \log(B_w) = 31.802 - 10 \cdot \log(20 \cdot 10^6) = -41.209 \text{ дБм / Гц}$$

Интерференция, создаваемая другими БС в пилот-канале

$$I_{cp} = I_{up} + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{f_r} - 1\right) \quad (4.23)$$

где I_{cp} - плотность интерференции, создаваемой другими БС, в пилот-канале (дБм/Гц)

$$I_{cp} = I_{up} + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{f_r} - 1\right) = -41.21 + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{0.65} - 1\right) = -43.897 \text{ дБм} / \text{Гц}$$

Плотность интерференции для пилот-канала

$$I_p = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot I_{up}} + 10^{0.1 \cdot I_{cp}}) \quad (4.24)$$

где I_p - плотность интерференции для пилот-канала (дБм/Гц)

$$I_p = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot I_{up}} + 10^{0.1 \cdot I_{cp}}) = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot (-41.21)} + 10^{0.1 \cdot (-43.897)}) = -39.338 \text{ дБм} / \text{Гц}$$

Интерференция от других абонентов (той же БС) в поисковом канале

$$I_{upg} = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot p_m} + 10^{0.1 \cdot p_{pgf}}) - 10 \cdot \log(Bw) \quad (4.25)$$

где I_{upg} - плотность интерференции от других абонентов в поисковом канале (дБм/Гц)

$$I_{upg} = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot p_m} + 10^{0.1 \cdot p_{pgf}}) - 10 \cdot \log(Bw) = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot 31.802} + 10^{0.1 \cdot (-5)}) - 10 \cdot \log(20 \cdot 10^6) = -41.21 \text{ дБм} / \text{Гц}$$

Интерференция, создаваемая другими БС в поисковом канале

$$I_{cpg} = I_{upg} + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{f_r} - 1\right) \quad (4.26)$$

где I_{cpg} - плотность интерференции создаваемой другими БС в поисковом канале (дБм/Гц)

$$I_{cpg} = I_{upg} + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{f_r} - 1\right) = -41.21 + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{0.65} - 1\right) = -43.898 \text{ дБм} / \text{Гц}$$

Плотность интерференции для поискового канала

$$I_{pg} = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot I_{upg}} + 10^{0.1 \cdot I_{cpg}}) \quad (4.27)$$

где I_{pg} - плотность интерференции для поискового канала (дБм/Гц)

$$I_{pg} = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot I_{upg}} + 10^{0.1 \cdot I_{cpg}}) = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot (-41.21)} + 10^{0.1 \cdot (-43.898)}) = -39.339 \text{ дБм / Гц}$$

Интерференция от других абонентов (той же БС) в канале синхронизации

$$I_{us} = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot p_m} - 10^{0.1 \cdot p_{sr}}) - 10 \cdot \log(Bw) \quad (4.28)$$

где I_{us} - плотность интерференции создаваемой другими абонентами в канале синхронизации (дБм/Гц)

$$I_{us} = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot p_m} - 10^{0.1 \cdot p_{sr}}) - 10 \cdot \log(Bw) = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot 31.802} - 10^{0.1 \cdot (-1363)}) - 10 \cdot \log(20 \cdot 10^6) = -41.209 \text{ дБм / Гц}$$

Интерференция, создаваемая другими базовыми станциями в канале синхронизации

$$I_{cs} = I_{us} + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{f_r} - 1\right) \quad (4.29)$$

где I_{cs} - плотность интерференции создаваемой другими БС в канале синхронизации (дБм/Гц)

$$I_{cs} = I_{us} + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{f_r} - 1\right) = -41.209 + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{0.65} - 1\right) = -43.897 \text{ дБм / Гц}$$

Плотность интерференции для канала синхронизации

$$I_s = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot I_{us}} + 10^{0.1 \cdot I_{cs}}) \quad (4.30)$$

где I_s - плотность интерференции для канала синхронизации (дБм/Гц)

$$I_s = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot I_{us}} + 10^{0.1 \cdot I_{cs}}) = 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot (-41.209)} + 10^{0.1 \cdot (-43.897)}) = -39.338 \text{ дБм / Гц}$$

Тепловой шум

$$N_0 = 10 \cdot \log(290 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23}) + N_f + 30 \quad (4.31)$$

где N_0 - плотность теплового шума (дБм/Гц)

N_f - значение шума в приемнике МС (дБм/Гц)

$$N_0 = 10 \cdot \log(290 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23}) + N_f + 30 = 10 \log(290 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23}) + 3 + 30 = -170.977 \text{ дБм/Гц}$$

Отношение сигнал/шум + интерференция в трафик – канале

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = p_{tr} - 10 \log[10^{0.1I_t} + 10^{0.1N_0}] \quad (4.32)$$

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = 5.349 - 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot 12.063} + 10^{0.1 \cdot (-165.977)}) = -4.874 \text{ дБ}$$

Отношение сигнал/шум + интерференция в пилот – канале

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = p_{pr} - 10 \log B_w - 10 \log[10^{0.1I_p} + 10^{0.1N_0}] \quad (4.33)$$

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = 60.55 - 10 \cdot \log(20 \cdot 10^6) - 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot 12.063} + 10^{0.1 \cdot (-165.977)}) = -40.512 \text{ дБ}$$

Отношение сигнал/шум + интерференция в поисковом канале

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = p_{pg} - 10 \log[10^{0.1I_{pg}} + 10^{0.1N_0}] \quad (4.34)$$

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = 70.55 - 10 \cdot \log(10^{0.1 \cdot (-39.338)} + 10^{0.1 \cdot (-170.977)}) = -12.754 \text{ дБ}$$

Отношение сигнал/шум + интерференция в канале синхронизации

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = p_{sr} - 10 \log[10^{0.1I_s} + 10^{0.1N_0}] \quad (4.35)$$

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = 55.65 - 10 \cdot \log(10^{0.1(-39.338)} + 10^{0.1(-170.977)}) = -136.785 \text{ дБ}$$

4.2.2 Обратное соединение

Мощность усилителя мобильной станции

$$P_{ma} = P_{me} + G_m - L_m \quad (4.36)$$

где P_{ma} - мощность на выходе усилителя (дБм)
 P_{me} - полная излучаемая мощность антенны МС (дБм)
 G_m - коэффициент усиления передающей антенны МС (дБ)
 L_m - потери в кабеле МС (дБ)

$$P_{ma} = P_{me} + G_m - L_m = 20 + 1 - 0.05 = 20.95 \text{ дБм}$$

Мощность принятая БС от одного абонента

$$P_{cu} = P_{me} + L_p + A_t + G_t + L_t \quad (4.37)$$

где P_{cu} - мощность принятая БС по каналу трафика от МС (дБм)
 L_p - средние потери на трассе между БС и МС (дБ)
 A_t - допуск на теневые потери (дБ)
 G_t - коэффициент усиления (на приеме) антенны БС (дБ)
 L_t - потери в кабеле БС (дБ)

$$P_{cu} = P_{me} + L_p + A_t + G_t + L_t = 20 - 3 - 12.2 + 16 - 2.5 = 18.3 \text{ дБм}$$

Плотность интерференции, создаваемой другими абонентами в данной БС

$$I_{utr} = P_{cu} + 10 \cdot \log(N_t - 1) + 10 \cdot \log(C_a) - 10 \cdot \log(B_w) \quad (4.38)$$

где I_{UTR} - плотность интерференции, создаваемой другими абонентами в данной БС (дБм/Гц)

C_a - коэффициент активности речи в канале ($C_a = 0.4 - 0.6$);

N_t - число трафик-каналов, имеющих на одной БС

$$I_{utr} = P_{cu} + 10 \cdot \log(N_t - 1) + 10 \cdot \log(C_a) - 10 \cdot \log(B_w) = 13.1 + 10 \cdot \log(180 - 1) + 10 \cdot \log(0.5) - 10 \cdot \log(1.2288 \cdot 10^6) = -28.277 \text{ дБм/Гц}$$

Плотность интерференции, создаваемой другими абонентами других БС

$$I_{ctr} = I_{utr} + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{f_r} - 1\right) \quad (4.39)$$

где I_{ctr} - Плотность интерференции, создаваемой другими абонентами других БС (дБм/Гц)

$$I_{ctr} = I_{utr} + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{f_r} - 1\right) = -28.277 + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{0.65} - 1\right) = -30.965 \text{ дБм/Гц}$$

Плотность интерференции, создаваемой другими абонентами других БС и данной БС

$$I_{tr} = 10 \cdot \log(10^{0.1 I_{utr}} + 10^{0.1 I_{cr}}) \quad (4.40)$$

где I_{tr} - Плотность интерференции, создаваемой другими абонентами других БС и данной БС (дБм/Гц)

$$I_{tr} = 10 \cdot \log(10^{0.1 I_{utr}} + 10^{0.1 I_{cr}}) = 10 \cdot \log(10^{0.1(-28.277)} + 10^{0.1(-30.965)}) = -26.406 \text{ дБм/Гц}$$

Плотность теплового шума

$$N_0 = 10 \cdot \log(290 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23}) + N_f + 30 \quad (4.41)$$

$$N_0 = 10 \cdot \log(290 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23}) + N_f + 30 = 10 \log(290 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23}) + 5 + 30 = -168.977 \text{ дБм/Гц}$$

Отношение сигнал/шум + интерференция в трафик-канале

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = P_{cu} - 10 \log[10^{0.1 I_{tr}} + 10^{0.1 N_0}] \quad (4.42)$$

$$\frac{E_b}{N_0 + I_t} = 18.3 - 10 \cdot \log(9600) - 10 \cdot \log(10^{0.1(-26.406)} + 10^{0.1(-168.977)}) = 5.285 \text{ дБ}$$

4.2.2 Расчет пиковой скорости передачи

Скорости передачи, как в нижнем направлении, так и в верхнем, рассчитываются на базе стандартов 3GPP. В зависимости от количества передатчиков и приемников антенн MIMO, скорость рассчитывается по-разному. В данном проекте используется антенна MIMO конфигурации 2x2. По таблице 2.3 [14] : Выбирается значение I_{TBS} в зависимости от типа модуляции (QPSK, QAM-16, QAM-64). Затем в таблице 2.3 по числу ресурсных блоков ($N_{PRB} = 100$) и I_{TBS} выбирается искомое значение пиковой теоретической скорости [14].

Т а б л и ц а 4.3 - Значения пиковых теоретических скоростей

MCS Index I_{MCS}	Modulation Order Q_m	TBS Index I_{TBS}
0	2	0
1	2	1
2	2	2
3	2	3
4	2	4
5	2	5

6	2	6
7	2	7

Продолжение таблицы 4.3

8	2	8
9	2	9
10	4	9
11	4	10
12	4	11
13	4	12
14	4	13
15	4	14
16	4	15
17	6	15
18	6	16
19	6	17
20	6	18
21	6	19
22	6	20
23	6	21
24	6	22
25	6	23
26	6	24
27	6	25
28	6	26
29	2	Reserved
30	4	
31	6	

Т а б л и ц а 4.4 - Нахождение пиковых скоростей

I_{TBS}	N_{PRB}									
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
0	2536	2536	2600	2600	2664	2664	2728	2728	2728	2792
1	3368	3368	3368	3496	3496	3496	3496	3624	3624	3624
2	4136	4136	4136	4264	4264	4264	4392	4392	4392	4584
3	5352	5352	5352	5544	5544	5544	5736	5736	5736	5736
4	6456	6456	6712	6712	6712	6968	6968	6968	6968	7224
5	7992	7992	8248	8248	8248	8504	8504	8760	8760	8760
6	9528	9528	9528	9912	9912	9912	10296	10296	10296	10296
7	11064	11448	11448	11448	11448	11832	11832	11832	12216	12216
8	12576	12960	12960	12960	13536	13536	13536	13536	14112	14112
9	14112	14688	14688	14688	15264	15264	15264	15264	15840	15840
10	15840	16416	16416	16416	16992	16992	16992	16992	17568	17568
11	18336	18336	19080	19080	19080	19080	19848	19848	19848	19848

12	20616	21384	21384	21384	21384	22152	22152	22152	22920	22920
13	23688	23688	23688	24496	24496	24496	25456	25456	25456	25456
14	26416	26416	26416	27376	27376	27376	28336	28336	28336	28336
15	28336	28336	28336	29296	29296	29296	29296	30576	30576	30576
16	29296	30576	30576	30576	30576	31704	31704	31704	31704	32856
17	32856	32856	34008	34008	34008	35160	35160	35160	35160	36696
18	36696	36696	36696	37888	37888	37888	37888	39232	39232	39232
19	39232	39232	40576	40576	40576	40576	42368	42368	42368	43816
20	42368	42368	43816	43816	43816	45352	45352	45352	46888	46888
21	45352	46888	46888	46888	46888	48936	48936	48936	48936	51024
22	48936	48936	51024	51024	51024	51024	52752	52752	52752	55056
23	52752	52752	52752	55056	55056	55056	55056	57336	57336	57336
24	55056	57336	57336	57336	57336	59256	59256	59256	61664	61664
25	57336	59256	59256	59256	61664	61664	61664	61664	63776	63776
26	66592	68808	68808	68808	71112	71112	71112	73712	73712	75376

Результаты занесем в таблицу 4.5.

Т а б л и ц а 4.5 - Расчет пиковых скоростей при ширине п/п 20 МГц

Направление	MIMO схема	Модуляция	Пиковая скорость передачи, Кбит/с
DL	2x2	64-QAM	150552
UL	2x2	16-QAM	61152

4.3 Расчет опорного уровня чувствительности

Опорный уровень чувствительности - это минимальная средняя мощность сигнала на разъем антенны, при котором требование к пропускной способности выполняется. Пропускная способность будет $\geq 95\%$ от максимальной пропускной способности для выбранного измерительного канала. Цель этого требования заключается в проверке коэффициента шума приемника. Другие искажения приемника, такие как приемник ЭВМ, включены в требования по демодуляции приемника при максимальных значениях отношения сигнал/шум. Таким образом, максимальная пропускная способность определяется в нижних точках с/ш для чувствительности. Расчет опорного уровня чувствительности приведен в формуле 4.43, с учетом значения уровня шума (NF Noise figure), равным 3 дБ и плотности теплового шума $4 \cdot 10^{-18}$ мВт/Гц.

$$P_{REFSENS} = 10 \cdot \log(N_{th} \cdot N_{RB} \cdot 180 \cdot 10^3) + NF + SNR \quad (4.43)$$

где N_{RB} – число ресурсных блоков (100 по 180 КГц)

SNR (signal noise ratio- отношение сигнал шум) для 95 % от максимальной пропускной способности составляет -3.6 дБ.

NF (Noise figure) – поправка на помехи

$$P_{REFSENS} = 10 \cdot \log(4 \cdot 10^{-18} \cdot 100 \cdot 180 \cdot 10^3) + 5 - 3.6 = -122.1 \text{ дБм}$$

4.4 Динамический диапазон

Требования к динамическому диапазону - это мера мощности приемника для приема требуемого сигнала при наличии интерференционного сигнала внутри принятого частотного канала, при удовлетворенных требованиях к пропускной способности. Цель данного требования заключается в обеспечении того, что базовая станция может поддерживать высокую пропускную способность при наличии повышенной интерференции и высоких уровнях сигнала.

Это требование измеряет эффект искажений при приеме и осуществляется при высоких значениях с/ш. Средняя мощность интерференционного сигнала (AWGN) составляет пороговому уровню шума приемника, увеличенного на 20 дБ для того, чтобы скрыть собственный пороговый уровень шума приемника. Вычисление среднего значения мощности требуемого сигнала приводятся ниже, с учетом уровня шума 5 дБ, IM 2,5 дБ.

$$P_{din} = -174 + 10 \cdot \log(N_{RB} \cdot 180 \cdot 10^3) + 20 + NF + SNR + IM \quad (4.44)$$

$$P_{din} = -174 + 10 \cdot \log(100 \cdot 180 \cdot 10^3) + 20 + 5 + 9.8 + 2.5 = -94.14 \text{ дБм}$$

4.5 Расчет числа абонентов в зависимости от нагрузки

В зависимости от средней нагрузки и пропускной способности базовой станции можно вычислить максимальное количество абонентов, одновременно подключенных к сети без ее сбоев. Существует 2 метода: по объему трафика и по скорости передачи данных [7]. Метод, основанный на расчете объема трафика, вычисляет максимальный объем трафика в Гигабайтах, которых может быть передан по LTE 20 МГц конфигурации 1+1+1. Спектральная эффективность принимается равной 1,74 бит/с/Гц/соту, используя MIMO 2x2.

Для определения процента средней загрузки БС и доли час наибольшей нагрузки от дневного трафика, обратимся к диаграмме загруженности базовой станции X оператора Beeline, представленной на рисунке 2.7.

По данным рисунка 3.7 видно, что средняя загруженность БС в ЧНН составляет 60% (в часы с 10-12 при нагрузке >2400), ЧНН составляет 21,5 % от всего дневного трафика (7350 от 31140). Максимальная загрузка также зависит от стратегии дифференциации QoS: загрузка может составлять 100 %

для одних абонентов, параллельно сохраняя максимальные скорости для более важных соединений. При расчете следует учесть перевод из Мбит/с в Гбайт (1 Гбайт=1024*8 Мбит). По этим данным определим пропускную способность соты.

$$Th_{cell} = B \cdot Sp_{eff}, \quad (4.45)$$

где Th_{cell} - пропускная способность соты;

B -ширина полосы пропускания;

Sp_{eff} - Спектральная эффективность для ширины канала 20 МГц.



Рисунок 4.7 - График загрузки БС в сутки.

С учетом загрузки БС, а также определения пропускной способности соты в месяц (3600 секунд в часу, 30 дней в месяце, 3 сектора на сайте)

$$Th_{cell_загрузка} = \frac{Th_{cell} \cdot 60\%}{21,5\%} \cdot N_{сек} \cdot N_{дн} \cdot N_{сект} \quad (4.46)$$

$$Th_{cell_загрузка} = \frac{20 \cdot 1,74}{8192} \cdot 3600 \cdot 30 \cdot 3 \cdot \frac{60}{21,5} = 4019 \text{ Гбайт}.$$

Принимая во внимание то, что каждому абоненту понадобится 5 Гбайт трафика

$$N_{аб} = \frac{T_{cell_загрузка}}{T_{ave}} \quad (4.47)$$

где $N_{аб}$ - число абонентов на соту;

T_{ave} - количество трафика на абонента.

$$N_{аб} = \frac{T_{cell_загрузка}}{T_{ave}} = \frac{4019}{5} = 803 \text{ абонентов.}$$

Вычисление количества абонентов по средней скорости скачивания данных с учетом нагрузки сети

$$N_{аб} = \frac{B \cdot 1,74}{v_{загрузка}} \cdot N_{сайт} \cdot 62,8\% \quad (4.48)$$

$$N_{аб} = \frac{20 \cdot 1,74}{50} \cdot 1000 \cdot 3 \cdot 0,628 = 1319$$

где $v_{загрузка}$ - средняя скорость скачивания 50 Кбит/с.

Вычисления показывают, что итоговая пропускная способность в месяц составляет 4019 Гбайт. Чтобы выделить каждому абоненту по 5 Гбайт трафика, нужно 803 подключенных пользователей.

По другому методу, средняя скорость загрузки будет 50 Кбит/с на абонента. Так, число пользователей составит 1319 человека.

Эти вычисления показывают, что базовые станции eNodeB LTE выдерживают большое количество абонентов, заметно не снижая скорости.

4.6 Расчет радиуса покрытия

4.6.1 Модель Окумура и Хата.

Существует достаточно большое количество эмпирических моделей предсказания потерь при распространении сигналов для различных типов местности. Наиболее известной и используемой является модель предсказания Окумура и Хата в случае изотропных (идеальных всенаправленных), имеющих коэффициенты усиления, равные 1, антенн базовой станции и подвижного объекта.

Данными формулами можно пользоваться, если выполняются следующие условия[8]:

- f_0 : от 150 до 1500 МГц;
- h_b : от 30 до 200 м; возможно расширение диапазона (от 1,5 до 400 м);
- h_m : от 1 до 10 м;
- r : от 1 до 20 км; возможно расширение диапазона (от 2м до 80 км).

Полученные результаты расчета сводят в таблицу.

Применяется метод Окумура-Хата. Существует 4 модели Хата: открытая, сельская местность, малонаселенный город и мегаполис. Она используется для диапазона частот от 500 МГц до 2000 МГц и рассчитывает общее затухание

$$\text{PathLoss}_{\text{UL}} = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f_{\text{MHz}}) - 13.82 \log_{10}(h) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h)] \log_{10}(d_{\text{km}}) - K, \quad (4.49)$$

где $\text{PathLoss}_{\text{UL}}$ - это общее затухание;

f_{MHz} - частота несущей в МГц;

h_b - высота базовой станции в метрах;

h_m - высота мобильной станции в метрах;

$a(h_m)$ and K - это характеристики окружающей среды.

Причем радиус покрытия в нисходящем канале не ограничивается, для типичных выходных мощностей eNodeB (10-40 Вт) и сценарий развертывания с мощностью мобильного терминала в 23 дБ, энергетический потенциал линии связи ограничен только в восходящем канале.

Радиус покрытия d_{km} может быть рассчитан как (рисунок 4.8)[8]:

Вид местности	$a(h_m)$	K
Открытая	$[1.1 \log_{10}(f_{\text{MHz}}) - 0.7] - [1.56 \log_{10}(f_{\text{MHz}}) - 0.8]$	$4.78[\log_{10}(f_{\text{MHz}})]^2 - 18.33 \log_{10}(f_{\text{MHz}}) + 40.94$
Сельская		$2[\log_{10}(f_{\text{MHz}}/28)]^2 + 5.4$
Малонаселенный город		0
Мегаполис	$3.2[\log_{10}(11.75 h_m)]^2 - 4.97$	0

Рисунок 4.8 – Параметры для расчета радиуса покрытия

$$\text{PathLoss}_{\text{UL}} = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f_{\text{MHz}}) - 13.82 \log_{10}(h) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h)] \log_{10}(d_{\text{km}}) - K,$$

Формула для расчета максимальной дальности связи одной БС

$$d = 10^{\frac{L_{\text{path}} - 69.55 - 26.16 \log_{10}(f_{\text{MHz}}) + 13.82 \log_{10}(h_b) + a(h_m) + K}{44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)}} \quad (4.50)$$

4.6.1.1 Для открытой местности

$$a(h_m) = (1.1 \log(700) - 0.7) - (1.56 \log(700) - 0.8) = -1.038 \text{ (дБ)}$$

$$k = 4.78 \cdot \log(700)^2 - 18.33 \cdot \log(700) + 40.94 = 27.481 \text{ (дБ)}$$

$$d = 10^{\frac{1252 - 69.55 - 26.16 \log(700) + 13.82 \log(30) - 1.038 + 27.481}{44.9 - 6.55 \log(30)}} = 6.268 \text{ (км)}$$

4.6.1.2 Для сельской местности

$$a(hm) = (1.1 \log(700) - 0.7) - (1.56 \log(700) - 0.8) = -1.038 \text{ (дБ)}$$

$$k = 2 \cdot \log(700/28)^2 + 5.4 = 9.308 \text{ (дБ)}$$

$$d = 10^{\frac{125.2 - 69.55 - 26.16 \log(700) + 13.82 \log(30) - 1.038 + 9.308}{44.9 - 6.55 \log(30)}} = 1.911 \text{ (км)}$$

4.6.1.3 Территория маленького города

$$a(hm) = (1.1 \log(700) - 0.7) - (1.56 \log(700) - 0.8) = -1.038 \text{ (дБ)}$$

$$k = 0 \text{ (дБ)}$$

$$d = 10^{\frac{125.2 - 69.55 - 26.16 \log(700) + 13.82 \log(30) - 1.038}{44.9 - 6.55 \log(30)}} = 1.24 \text{ (км)}$$

4.6.1.4 Для мегаполиса

$$a(hm) = 3.2 \cdot \log(11.75 \cdot 1.5)^2 - 4.97 = -0.919 \cdot 10^{-3} \text{ (дБ)}$$

$$d = 10^{\frac{125.2 - 69.55 - 26.16 \log(700) + 13.82 \log(30) - 0.000919}{44.9 - 6.55 \log(30)}} = 1.113 \text{ (км)}$$

Т а б л и ц а 4.6 - Расчет радиуса покрытия

Параметры	Значения
Необходимая скорость передачи данных, кбит/с	12.2
Число ресурсных блоков	100
Использ. полоса пропускания, МГц	20
Сигнал/шум	4.874
Значение шума eNodeB	3.0
Чувствительность eNodeB	-122.1
Усиление антенны	16
Потери на кабеле и коннекторе	0.5
Потери тела	3
Дополнительные потери	0
Вероятность покрытия	95
Мощность передатчика МТ	23
Усиление антенны МТ	0
Общее затухание	135.2

Т а б л и ц а 4.7 - Сравнение радиуса для различных типов местности

Радиус покрытия	LTE 700 МГц
открытая местность	6.268
сельская местность	1.991
малонаселенный город	1.24
мегаполис	1.113

Здесь приводится сравнение использования частот LTE 700 МГц и 2600 МГц. Преимущества низких частот очевидны, так как низким частотам характерно меньшее значение усиления антенны. Поэтому чтобы сохранить нужное значение усиления антенны, достаточно физически увеличить размер антенны. Оптимальные габариты 2,5 м в длину на базовой станции и внешняя антенна на мобильном терминале [8].

Т а б л и ц а 4.8 - Сравнение радиуса для частот 700 и 2600 МГц

Радиус покрытия, км	700 МГц	2600 МГц
Открытая местность	6.268	4.548
Сельская местность	1.991	1.386
Малонаселенный город	1.24	0.754
Мегаполис	1.113	0.576

По данному графику можно сделать вывод о целесообразности использования частот в 700 МГц для обеспечения большего покрытия БС и меньшего затухания при удалении от базовой станции.

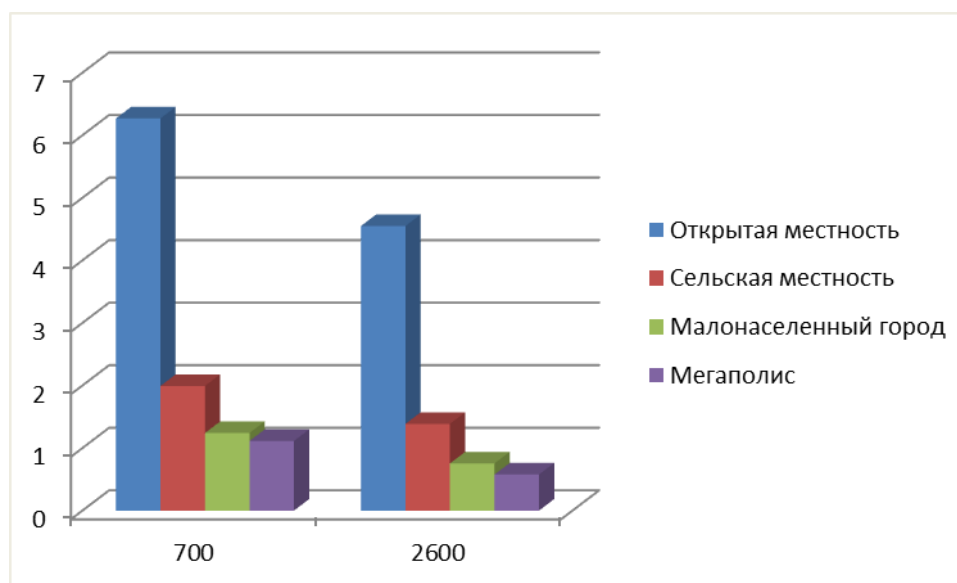


Рисунок 4.9 - Сравнение значений радиуса покрытия для частот 700 МГц и 2600 МГц

4.7 Оценка речевого трафика в сети LTE

На основе статистических данных приведенных на официальном сайте города Алматы, население составляет 1 475 579 человек [17]. Максимальная ёмкость рынка по количеству абонентов использующих услуги сетей третьего поколения оценивается как 40 % от общего количества потенциальных абонентов. На сегодняшний день из 15 219 тыс человек сотовой связью пользуются 14 713 тыс. Этот противоречивый факт объясняется тем, что абоненты пользуются услугами нескольких операторов. Поэтому при расчёте абонентов мы не учитываем что количество жителей до 14 лет (не являющихся потенциальными абонентами) и не вычитаем их общего количества жителей. На основании выше сказанного потенциальное количество абонентов имеющих потребность в услугах предоставляемых сетями четвертого поколения будет

$$N_{аб} = N_{жит} \cdot 0.3, \text{ абонентов}, \quad (4.51)$$
$$N_{аб} = 1475579 \cdot 0.3 = 442673, \text{ абонентов}$$

Рассчитаем число одновременно говорящих абонентов

$$A = A_{cp} \cdot N_{аб} \quad (4.52)$$

где $A_{cp} = 0,05$ Эрл – нагрузка одного абонента в час наибольшей нагрузки; $N_{аб} = 442673$ – количество абонентов.

$$A = 0,05 \cdot 442673 = 22133, \text{ Эрл}$$

У нас получилась нагрузка 22133 Эрл, она эквивалентна 22133 одновременно разговаривающих абонентов ($N_{од} = 22133$ человек).

4.6 Максимальное количество базовых станций

Общее количество базовых станций можно рассчитать, исходя из расчета радиуса зоны покрытия.

Территория покрытия 1 базовой станции для мегаполиса

$$S = \pi R^2 \quad (4.53)$$

$$N_{БС} = 339,36 / (3,14 \cdot 1.113^2) = 86,895 \approx 87 \text{ базовых станций.}$$

Заключение

Стандарт высокоскоростной передачи данных, разработанный Консорциумом 3GPP, активно расширяется и развертывается в мире. Самой важной преградой на пути продвижения LTE является обеспечение традиционных услуг – телефонии и SMS, на которые по-прежнему приходится основная часть доходов мобильных операторов.

Для решения проблемы был проведен подробный обзор конкурентоспособных технологий, позволяющих реализовать услугу по передаче голоса в сети LTE. Произведен анализ и подробно изложены принципы работы представленных технологий, выявлены преимущества и недостатки каждой из них. Методом сравнения выбран наиболее подходящий способ решения проблемы организации голосовых услуг.

Проведено экспериментальное исследование выбранного стандарта передачи голоса CS Fallback. Тщательно изучены недостатки, а именно подсчет времени и задержек, обусловленные этой технологией. Проведены исследования влияния параметров сети и характера подключений на задержки.

Результаты исследования показали, что задержки существуют и могут повлиять на качество обслуживания. Предложен вариант с внедрением технологии CSFB с последующим обновлением до ULTRA-Flash CSFB.

Обладая развернутой сетью третьего поколения, технология CS Fallback обеспечит плавный переход к сетям LTE с услугой передачи голоса. А обновление позволит снизить величину задержек и улучшить другие характеристики сети.

Стоит отметить, что для долгосрочной перспективы единственным решением является вариант внедрения системы IMS. Конечной целью будет полноценная платформа IMS и переход всей голосовой связи (звонков) в пакетные сети.

Терминология

LTE - Long Term Evolution
W-CDMA - Wideband Code Division Multiple Access)
UMTS - Universal Mobile Telecommunications System
GSM - Global System for Mobile Communications
GSA - The Global mobile Suppliers Association
QOS - Quality of Service
EPS - Evolved Packet System
MSCs/VLR - Mobile Switching Center/Visitor Location Register
E-UTRAN - Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
E-UTRA - Evolved Universal Terrestrial Radio Access
FD-LTE - Frequency Division
TD-LTE - Time Division
OFDMA - Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
QPSK - Quadrature phase shift keying
QAM - Quadrature Amplitude Modulation
MIMO - Multiple Input Multiple Output
TTI - Transmission Time Interval
MAC - Medium Access Control
RLC - Radio Link Control
HD - High Definition
SMS - Short Messaging Service
SGSN - Serving GPRS Support Node
GGSN - GPRS Gateway Service Node
NGMN - Next Generation Mobile Networks
PDN - Packet Data Network
APN - Access Point Name
P-CSCF – Proxy Call Session Control Function
IMSI - International Mobile Subscriber Identity
MSISDN - Mobile Subscriber Integrated Services Digital Number
RRM - Radio Resource Management
PDN - Packet Data Network)
APN - Access Point Name
ISIM - IMS Services Identity Module
UICC - Universal Integrated Circuit Card
URI - Uniform Resource Identifier

Список литературы

1. GSA - The Global mobile Suppliers Association Website http://www.gsacom.com/news/gsa_393.php
2. 3GPP website. LTE overview, <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>
3. Гельгор А.Л., Попов Е.А., Технология LTE мобильной передачи данных: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.- 204 с.
4. Keithley White Paper: Orthogonal Frequency Division Multiplexing, September 2008, vol. 14, <http://www.ieee.li/pdf/essay/ofdm.pdf>
5. 4G Americas White Paper: MIMO and Smart antennas for mobile broadband systems, October 2012, vol. 138, <http://www.4gamericas.org/documents/MIMO%20and%20Smart%20Antennas%20for%20Mobile%20Broadband%20Systems%20Oct%202012x.pdf>
6. Залицкий А., Шельгов В., Тестирование инфраструктурных решений для сетей LTE: Журнал сетевых решений/Телеком, № 04, 2011, <http://www.osp.ru/telecom/2011/04/13008345/>
7. Ткаченко В., LTE в мире: обзор ситуации, Сети и бизнес, № 4 (65), 2012, http://www.sib.com.ua/arhiv_2012/2012_4/statia_1_4/statia_1_4_2012.htm
8. 3GPP website. LTE-Advanced, June 2013, <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>
9. Geoff Huston, Best efforts networking, July 2001, vol 3, <http://www.potaroo.net/ispcol/2001-09/2001-09-best.pdf>
10. 3GPP TS 23.272 V10.7.0. Circuit Switched (CS) fallback in Evolved Packet System (EPS), March 2012, vol. 83, <http://www.quintillion.co.jp/3GPP/Specs/23272-a70.pdf>
11. Oleg Stepaniuk, Voice over LTE via Generic Access (VoLGA) as a possible solution of mobile networks transformation, Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), 2010 International Conference, 23-27 Feb. 2010, pages 205, <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=5446118&contentType=Conference+Publications&queryText%3Dvolga>
12. Volga Forum Official Website, <http://www.volga-forum.com/>
13. 3GPP TS 24.229 V10.6.1. IP multimedia call control protocol based on Session Initiation Protocol (SIP) and Session Description Protocol (IM) Subsystem, January 2012, vol. 712, <http://www.quintillion.co.jp/3GPP/Specs/24229-a61.pdf>
14. Alan Quayle – Business and service development website, <http://alanquayle.com/2011/04/ims-world-forum-quick-summary/>
15. Ericsson White paper: Voice and video calling over LTE, February 2012, vol. 18, <http://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/WP-Voice-Video-Calling-LTE.pdf>

16. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б., Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура.-М.: ЭкоТрендз, 2010
17. Alcatel-Lucent Strategic White Paper, www.alcatel-lucent.com
18. Technical White Paper, LTE: A technical overview, Motorola, 2008
19. LTE for Future of Mobile Broadband Technology, Verizon Wireless, White Paper, 2010
20. Сборник научных трудов аспирантов и магистрантов АУЭС, 2013
21. www.3gpp.org
22. www.wikipedia.com

Приложение А

Интерфейс программного обеспечения «HUAWEI Local Maintenance Terminal»

The screenshot displays the Huawei Local Maintenance Terminal (BSC) interface. The top menu bar includes options like 'Obtain Documentation List', 'System Settings', 'File Manager', 'FTP Tool', 'User-defined Command Group', 'Password', 'About', 'Lock', 'Help', and 'Logout'. Below this, there are tabs for 'MML', 'Alarm/Event', 'Batch', 'Trace', 'Monitor', and 'Device Maintenance'. The 'Trace' tab is active, showing a 'Task List' with a selected task: 'Single User CS Trace(16779204)-(IMSL_40107110055601)'. The main area displays a detailed trace log with columns for No., Time, RFN, Trace Type, Direction, Message Type, Report Condition, Option, Subrack/Slot/SubSyst, and a final status column. The log entries show various messages such as 'Channel Required', 'Channel Activation', 'Channel Activation Acknowledge', 'Immediate Assign Command', 'Establish Indication', 'Location Updating Request', 'Classmark Request', 'Identity Request', 'Data Request', 'Classmark Enquiry', 'Data Request', 'Identity Request', 'Classmark Change', 'Data Indication', 'Classmark Update', 'Utran Classmark Change', 'Data Indication', 'GPRS Suspension Request', 'Data Indication', 'Classmark Change', 'Data Indication', 'Classmark Update', 'Utran Classmark Change', 'Data Indication', and 'Identity Response'. The interface also includes a 'Trace Navigation Tree' on the left side with various trace categories like 'Device Commissioning', 'OS Trace', 'Packet Capture', 'AC Trace', 'DHCP Trace', 'GSM Services', 'UM Interface CS Trace', 'UM Interface PS Trace', 'CD Interface Trace', 'BSC Trace', 'Abis Interface CS Trace', 'Abis Interface PS Trace', 'Proxy PMP Trace', 'Gb Interface PTP Trace', 'Gb Interface SIG Trace', 'Gb Interface NS Signal Trace', 'Single User PS Trace', 'BTS Signaling Trace', 'LB Interface Trace', 'UMTS Services', 'Iu Interface Trace', 'Iupc Interface Trace', 'Iur Interface Trace', 'Iub Interface Trace', 'Iu Interface Trace', 'MINCDT Trace', 'Message Settings', 'UE Trace', 'Cell Trace', 'IOS Trace', 'Iur-p Trace', 'Manage Trace Task', and 'Manage Trace File'. The bottom status bar shows 'Интернет | Защищенный режим: вкл.' and a zoom level of 100%.

No.	Time	RFN	Trace Type	Direction	Message Type	Report Condition	Option	Subrack/Slot/SubSyst	
1	2013-10-22 17:05:31(39)	260873	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Channel Required	Cell ID:6992	0x2011f0b	1:0.2054	00 00 0
2	2013-10-22 17:05:31(39)	260873	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Channel Activation	Cell ID:6992	0x2011f0b	1:0.2054	00 00 5
3	2013-10-22 17:05:31(40)	260873	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Channel Activation Acknowledge	Cell ID:6992	0x2011f0b	1:0.2054	00 00 5
4	2013-10-22 17:05:31(40)	260873	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Immediate Assign Command	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	00 00 5
5	2013-10-22 17:05:31(40)	260873	UM Interface(Circuitry)	down link	Immediate Assignment	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	93 57 7
6	2013-10-22 17:05:31(65)	260873	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Establish Indication	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	00 00 5
7	2013-10-22 17:05:31(65)	260873	A Trace	up link	Location Updating Request	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	00 00 5
8	2013-10-22 17:05:31(71)	260873	A Trace	down link	Classmark Request	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	33 01 5
9	2013-10-22 17:05:31(71)	260873	A Trace	down link	Identity Request	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	34 01 5
10	2013-10-22 17:05:31(71)	260873	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Data Request	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	35 01 5
11	2013-10-22 17:05:31(71)	260873	UM Interface(Circuitry)	down link	Classmark Enquiry	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	00 00 5
12	2013-10-22 17:05:31(71)	260874	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Data Request	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	00 00 5
13	2013-10-22 17:05:31(71)	260874	UM Interface(Circuitry)	down link	Identity Request	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	33 01 5
14	2013-10-22 17:05:31(88)	260874	UM Interface(Circuitry)	up link	Classmark Change	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	00 02 5
15	2013-10-22 17:05:31(88)	260874	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	00 00 5
16	2013-10-22 17:05:31(88)	260874	A Trace	up link	Classmark Update	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	00 00 5
17	2013-10-22 17:05:32(83)	260874	UM Interface(Circuitry)	up link	Utran Classmark Change	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	45 DC 1
18	2013-10-22 17:05:32(83)	260874	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	45 DC 1
19	2013-10-22 17:05:33(06)	260874	UM Interface(Circuitry)	up link	GPRS Suspension Request	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	00 00 5
20	2013-10-22 17:05:33(06)	260874	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	00 00 5
21	2013-10-22 17:05:33(29)	260874	UM Interface(Circuitry)	up link	Classmark Change	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	00 D8 5
22	2013-10-22 17:05:33(29)	260874	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	00 00 5
23	2013-10-22 17:05:33(29)	260874	A Trace	up link	Classmark Update	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	00 00 5
24	2013-10-22 17:05:34(24)	260874	UM Interface(Circuitry)	up link	Utran Classmark Change	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	45 DC 1
25	2013-10-22 17:05:34(24)	260874	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	45 DC 1
26	2013-10-22 17:05:34(47)	260874	UM Interface(Circuitry)	up link	Identity Response	Cell ID:6992.TR...	0x2011f0b	1:0.2054	00 00 0

Приложение Б

Результаты трассировки каналы сигнализации во время совершения экспериментального звонка с использованием технологии CSFB

No.	Time	Trace Type	Direction	Message Type
1	2013-10-22 17:05:31(39)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Channel Required
2	2013-10-22 17:05:31(39)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Channel Activation
3	2013-10-22 17:05:31(40)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Channel Activation Acknowledge
4	2013-10-22 17:05:31(40),	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Immediate Assign Command
5	2013-10-22 17:05:31(40)	UM Interface(Circuitry)	down link	Immediate Assignment
6	2013-10-22 17:05:31(65)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Establish Indication
7	2013-10-22 17:05:31(65)	A Trace	up link	Location Updating Request
8	2013-10-22 17:05:31(71)	A Trace	down link	Classmark Request
9	2013-10-22 17:05:31(71)	A Trace	down link	Identity Request
10	2013-10-22 17:05:31(71)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Data Request
11	2013-10-22 17:05:31(71)	UM Interface(Circuitry)	down link	Classmark Enquiry
12	2013-10-22 17:05:31(71)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Data Request
13	2013-10-22 17:05:31(71)	UM Interface(Circuitry)	down link	Identity Request
14	2013-10-22 17:05:31(88)	UM Interface(Circuitry)	up link	Classmark Change
15	2013-10-22 17:05:31(88)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication
16	2013-10-22 17:05:31(88)	A Trace	up link	Classmark Update
17	2013-10-22 17:05:32(83)	UM Interface(Circuitry)	up link	Utran Classmark Change
18	2013-10-22 17:05:32(83)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication
19	2013-10-22 17:05:33(06)	UM Interface(Circuitry)	up link	GPRS Suspension Request
20	2013-10-22 17:05:33(06)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication
21	2013-10-22 17:05:33(29)	UM Interface(Circuitry)	up link	Classmark Change
22	2013-10-22 17:05:33(29)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication
23	2013-10-22 17:05:33(29)	A Trace	up link	Classmark Update
24	2013-10-22 17:05:34(24)	UM Interface(Circuitry)	up link	Utran Classmark Change
25	2013-10-22 17:05:34(24)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication
26	2013-10-22 17:05:34(47)	UM Interface(Circuitry)	up link	Identity Response
27	2013-10-22 17:05:34(47)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication
28	2013-10-22 17:05:34(47)	A Trace	up link	Identity Response
29	2013-10-22 17:05:34(54)	A Trace	down link	Identity Request
30	2013-10-22 17:05:34(54)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Data Request
31	2013-10-22 17:05:34(54)	UM Interface(Circuitry)	down link	Identity Request
32	2013-10-22 17:05:34(71)	UM Interface(Circuitry)	up link	Identity Response
33	2013-10-22 17:05:34(71)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication
34	2013-10-22 17:05:34(71)	A Trace	up link	Identity Response
35	2013-10-22 17:05:34(77)	A Trace	down link	Cipher Mode Command
36	2013-10-22 17:05:34(77)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Encryption Command
37	2013-10-22 17:05:34(77)	UM Interface(Circuitry)	down link	Ciphering Mode Command
38	2013-10-22 17:05:34(86)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result

Продолжение приложения Б

39	2013-10-22 17:05:34(86)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	BS Power Control
40	2013-10-22 17:05:34(94)	UM Interface(Circuitry)	up link	Ciphering Mode Complete
41	2013-10-22 17:05:34(94)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication
42	2013-10-22 17:05:34(94)	A Trace	up link	Cipher Mode Complete
43	2013-10-22 17:05:35(01)	A Trace	down link	MM Information
44	2013-10-22 17:05:35(01)	A Trace	down link	Location Updating Accept
45	2013-10-22 17:05:35(01)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Data Request
46	2013-10-22 17:05:35(01)	UM Interface(Circuitry)	down link	MM Information
47	2013-10-22 17:05:35(01)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Data Request
48	2013-10-22 17:05:35(01)	UM Interface(Circuitry)	down link	Location Updating Accept
49	2013-10-22 17:05:35(33)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result
50	2013-10-22 17:05:35(66)	UM Interface(Circuitry)	up link	Tmsi Reallocation Complete
51	2013-10-22 17:05:35(66)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication
52	2013-10-22 17:05:35(66)	A Trace	up link	Tmsi Reallocation Complete
53	2013-10-22 17:05:35(80)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result
54	2013-10-22 17:05:35(80)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	BS Power Control
55	2013-10-22 17:05:35(80)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	MS Power Control
56	2013-10-22 17:05:35(89)	UM Interface(Circuitry)	up link	Cm Service Request
57	2013-10-22 17:05:35(89)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication
58	2013-10-22 17:05:35(89)	A Trace	up link	Cm Service Request
59	2013-10-22 17:05:35(96)	A Trace	down link	Cm Service Accept
60	2013-10-22 17:05:35(96)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Data Request
61	2013-10-22 17:05:35(96)	UM Interface(Circuitry)	down link	Cm Service Accept
62	2013-10-22 17:05:36(27)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result
63	2013-10-22 17:05:36(35)	UM Interface(Circuitry)	up link	Setup
64	2013-10-22 17:05:36(35)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication
65	2013-10-22 17:05:36(35)	A Trace	up link	Setup
66	2013-10-22 17:05:36(41)	A Trace	down link	Call Proceeding
67	2013-10-22 17:05:36(41)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Data Request
68	2013-10-22 17:05:36(41)	UM Interface(Circuitry)	down link	Call Proceeding
69	2013-10-22 17:05:36(53)	A Trace	down link	Assignment Request
70	2013-10-22 17:05:36(53)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Channel Activation
71	2013-10-22 17:05:36(55)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Channel Activation Acknowledge
72	2013-10-22 17:05:36(55)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Data Request
73	2013-10-22 17:05:36(55)	UM Interface(Circuitry)	down link	Assignment Command
74	2013-10-22 17:05:36(74)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result
75	2013-10-22 17:05:36(74)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	BS Power Control
76	2013-10-22 17:05:37(10)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Establish Indication
77	2013-10-22 17:05:37(22)	UM Interface(Circuitry)	up link	Assignment Complete
78	2013-10-22 17:05:37(22)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Data Indication
79	2013-10-22 17:05:37(22)	A Trace	up link	Assignment Complete
80	2013-10-22 17:05:37(22)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Deactivate SACCH
81	2013-10-22 17:05:37(22)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Release Request

Продолжение приложения Б

82	2013-10-22 17:05:37(22)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	RF Channel Release
83	2013-10-22 17:05:37(23)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Release Confirm
84	2013-10-22 17:05:37(23)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	RF Channel Release Acknowledge
85	2013-10-22 17:05:37(47)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result
86	2013-10-22 17:05:37(95)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result
87	2013-10-22 17:05:38(43)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result
88	2013-10-22 17:05:38(91)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result
89	2013-10-22 17:05:39(39)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result
90	2013-10-22 17:05:39(86)	A Trace	down link	Alerting
91	2013-10-22 17:05:39(86)	ABIS Interface(Circuitry)	down link	Data Request
92	2013-10-22 17:05:39(86)	UM Interface(Circuitry)	down link	Alerting
93	2013-10-22 17:05:39(88)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result
94	2013-10-22 17:05:40(35)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result
95	2013-10-22 17:05:40(83)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result
96	2013-10-22 17:05:41(31)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result
97	2013-10-22 17:05:41(80)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result
98	2013-10-22 17:05:42(28)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result
99	2013-10-22 17:05:42(75)	ABIS Interface(Circuitry)	up link	Measurement Result

Приложение В

Фотография смартфона HUAWEI Ascend P1 LTE, который использовался по время экспериментального исследования

