

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество Казахский национальный исследовательский
технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт Автоматики и Информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

Оразалы Аружан Ержанкызы

«Исследование характеристик мобильной передачи данных по технологии LTE»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Образовательная программа 6В06201 – Телекоммуникация

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество Казахский национальный исследовательский
технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт Автоматики и Информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой Электроники,
телекоммуникации и космических технологий
к.т.н., ассоциированный профессор
Таштай Е.
" 01 " 06 2023 г.



ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Исследование характеристик мобильной передачи данных по технологии LTE»

по образовательной программе 6В06201 – Телекоммуникация

Выполнил(-а) дипломную работу

Оразалы А.Е.

Рецензент

К.т.н., И.О. асоц-профессора
Бахтиярова Е.А.

" 31 " 05 20 23 г.

Научный руководитель

PhD ст.преподаватель
Юсупова Г.М.

" 31 " 05 20 23 г.



Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество Казахский национальный исследовательский
технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»



ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломной работы

Дипломнику Оразалы Аружан Ержанкызы

Тема: «Исследование характеристик мобильной передачи данных по технологии LTE».
Утверждена приказом Ректора Университета № 408-П/Ө от «23» ноября 2023 года.
Срок сдачи законченной работы «30» апреля 2023 г.

Исходные данные к дипломной работе:

1. *Технология множественного доступа: - прямой канал (Downlink – DL) – OFDMA; - обратный канал (Uplink – UL) – SC-FDMA*
2. *Ширина полосы радиоканала: 1,4 - 20 МГц*
3. *Емкость ячейки (количество обслуживаемых абонентов)*
4. *Параметры MIMO*

Перечень вопросов подлежащих изучить и представить в дипломной работе:

- а) Обзор характеристик мобильной передачи данных по технологии LTE
- б) Анализ качественных параметров технологии LTE для развития сервисов.
- в) Эффективность технологии LTE с точки зрения удельных затрат на абонента
- г) Расчет пропускной способности.

Перечень графического материала: - изложить материалы диссертации в 25 -30 слайдах графического материала на PowerPoint;

Рекомендуемая основная литература:

1. А.Л.Гельгор Мобильной передачи данных технологии LTE: уч.пособие. – СПб.:Изд-во Политехнического университета, 2011.
2. А.Б. Юрчук, В.О. Тихвинский, С.В Терентьев. Системы мобильной связи LTE. технология и архитектура. – М.: 2010.
3. В.Ю.Бабаков, М.А. Вознюк, П.А Михайлов. Сети мобильной связи. Уч. Пособие для ВУЗов. - М: Горячая линия - Телеком, 2017.


ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Обзор характеристик мобильной передачи данных по технологии LTE [1, 2, 6, 7, 8]	1.09.2022-31.12.2022	выполнено
2. Анализ качественных параметров технологии LTE для развития сервисов [1, 2, 4, 6, 7, 8]	1.01.2023-30.01.2023	выполнено
3. Эффективность технологии LTE с точки зрения удельных затрат на абонента [1, 2, 4, 6, 7, 8]	1.02.2023-15.02.2023	выполнено
4. Расчет пропускной способности [3, 4, 6, 7]	16.02.2023-31.03.2023	выполнено
5. Написание дипломной работы	15.04.2023-30.04.2023	выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименование разделов	Консультанты Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Ассистент кафедры ЭТиКТ Акылжан П.Б.	1.06.2023 г.	

Научный руководитель

Задание принял к исполнению обучающийся

Дата



PhD ст. преподаватель Юсупова Г.М.

Оразалы А.Е.

“ 22 ”

декабря

2022 г.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассмотрено исследование характеристик мобильной передачи данных по технологии LTE. Данная технология является масштабируемой, наиболее эффективной с точки зрения удельных затрат на абонента и использования доступного частотного диапазона, а также способна предложить высокие качественные параметры для развития сервисов – высокую полосу пропускания (до 450 Мбит/с на базовую станцию) и низкий уровень задержек (до 20 мс). В работе проведены экспериментальные исследования, и представлена расчетная часть.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста LTE технологиясын қолдану арқылы мобильді деректерді беру сипаттамаларын зерттеу қарастырылған. Бұл технология ауқымды, бір абонентке шаққандағы шығындар мен қолжетімді жиілік диапазонын пайдалану тұрғысынан ең тиімді, сонымен қатар қызметтерді дамыту үшін жоғары сапалы параметрлерді – жоғары өткізу қабілеттілігін (бір базалық станцияға 450 Мбит/с дейін) ұсына алады. және төмен кідіріс (20 мс дейін). Жұмыста эксперименттік зерттеулер жүргізіліп, есептеу бөлімі берілген.

ANNOTATION

In this thesis, a study of the characteristics of mobile data transmission using LTE technology is considered. This technology is scalable, the most efficient in terms of unit costs per subscriber and the use of the available frequency range, and is also able to offer high quality parameters for the development of services - high bandwidth (up to 450 Mbps per base station) and low latency (up to 20 ms). Experimental studies are carried out in the work, and the calculation part is presented.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Переход стандарта 3го поколения к стандартам 4го поколения	9
1.1 Рубежи развития эталона UMTS. Переход к LTE	10
1.2 Краткий обзор основных параметров технологии LTE	15
1.3 Архитектура сети LTE. Основы технологии	16
1.4 Структура канального ресурса в сетях LTE	19
2 Выбор оборудования для взаимодействия стандарта LTE с UMTS/GSM и стандартами 3GPP	23
2.1 Управление мобильностью абонентских терминалов	24
2.2 Услуги, предоставляемые сетями LTE	29
2.3 Мультимедийные сообщения	29
2.4 Оптимизация сети	30
2.5 Качество обслуживания в сетях LTE	32
2.6 Передача пользовательских данных в восходящем направлении	40
2.7 Передача пользовательских данных в нисходящем направлении	42
2.8 Приём и обработка сигналов сетей LTE	45
3 Расчетная часть	48
3.1 Расчет пропускной способности сети. Расчет количества потенциальных абонентов	48
3.2 Анализ покрытия	51
3.3 Расчет чувствительности приемника БС	55
3.4 Расчет максимально допустимых потерь сети LTE	56
3.5 Расчет минимально допустимой мощности сигнала на входе приемника базовой станции	59
Заключение	61
Список используемой литературы	62

ВВЕДЕНИЕ

Стремительный прогресс информационных технологий и глобальное внедрение сети интернет как основных ресурсов массовой коммуникации является причиной многих изменений во всех сферах современной жизни.

Инновационные научно-технические изменения содействуют модернизации систем коммуникации, и выводят её на новый уровень. В мире возрастает потребность мобильной передачи данных в любом месте, где бывает современный человек. При этом большая часть таких пользователей получают сервисы благодаря современным сетям с поддержкой сетевых протоколов на основе технологии LTE (Long Term Evolution) [1]. LTE технология построения сетей беспроводного доступа четвертого поколения, на базе IP – сетей, которая отличается высокой скоростью передачи данных. Стандарт LTE – был разработан, и утвержден Международным Партнерским Объединением 3GPP. Эволюция стандарта 3G произошла благодаря изменению систем перехода от CDMA к системе OFDMA, для реализации высокоскоростных каналов связи в мобильных сетях.

Цели и разработки технологии LTE:

- Увеличение скорости передачи данных;
- Снижение стоимости предоставленных сервисов;
- Предоставление наибольшего диапазона сервисов и услуг;
- Гибкое использование существующих сетей.

С выходом в свет технологии LTE, воспользоваться мобильными предложениями будет гораздо комфортнее и удобнее. При внедрении сети LTE возникают новые сервисы, которые развиваются быстрыми темпами. На нынешний день сети на базе технологии LTE только развиваются, появляются первые фактические реализации небольших сетей. Проблема в том, что провайдеры услуг зачастую не могут выбрать соответствующее оборудование базовой станции и обеспечивать необходимые показатели качества сервиса абонентов. В результате – возрастает потребность в техническом обслуживании наибольшего числа базовых станций для решения растущего количества задач за короткое время. Для радиодоступа характеристики покрытия являются одними из важных показателей работоспособности.

Мы, продвинутые пользователи, привыкли идти в ногу с развитием технического прогресса, уже сегодня можем использовать интернет или работать с электронной почтой прямо с мобильных телефонов, смартфонов или планшетников, с поддержкой технология 3G. С появлением технологии LTE, пользоваться такими услугами станет намного комфортнее. Скорее всего, в сетях, построенных на технологии LTE, появятся и другие услуги, которые очень зависят от ширины канала связи. Из таких услуг можно выделить, например, онлайн-игры, мобильный видео-блоггинг, интерактивное ТВ, или какие-то профессиональные услуги. Переход на стандарт LTE принесет важные преимущества как для абонентов, так и для операторов предоставляющих услуги

мобильного ШПД [2].

Данная технология ориентирована на приложения, чувствительные к задержке и пропускной способности, поэтому вопрос качества связи в ней стоит особенно остро. Повысить качество связи позволяет заложенные в LTE механизмы диспетчеризации радиоканала и адаптации к его условиям. Поэтому исследование характеристик покрытия, выработка оптимального критерия адаптации является на сегодняшний день актуальной, особенно в свете незавершенности работы над стандартом LTE.

На сегодняшний день сети на базе технологии LTE в мире получили развитие, появляются первые практические реализации небольших сетей. Цель данной работы – исследование характеристик мобильной передачи данных по технологии LTE.

1 Переход стандарта 3го поколения к стандартам 4го поколения

Формирование сети GSM в направлении увеличения скорости передачи данных GPRS (до 384 кбит/с) привело к созданию технологии EDGE.

В данной технологии увеличение в 3 раза скорости передачи данных достигнуто за счет перехода от бинарной манипуляции ЧММС до многопозиционной 8-ОФМ. Непосредственный переход к 8-ОФМ вероятен только в каналах с высочайшим отношением сигнал/помеха. Иной характерной особенностью технологии EDGE считается осуществление способа «Повышающейся Избыточности» при помехоустойчивом кодировании, сущность которого содержится в увеличении пиковой скорости передачи данных за счет вероятного снижения избыточности кодов при изменении мощности кодов к качеству связи. Сознательно новым шагом становления мобильной связи считается исследование и ведение сети UMTS, которая могла обеспечить скорость передачи данных в выделенном канале до 1 Мбит/с. Сеть UMTS работает с кодовым разделением каналов [3].

Основное различие сети UMTS от GSM/EDGE/GPRS это внедрение широкополосных сигналов с полосой 3,84 МГц, а также с основанием сигнала больше единицы ($b \gg 1$).

Принципиальной индивидуальностью метода доступа, применяемого в UMTS с кодовым разделении каналов CDMA, считается его чувствительность к мощности входящих радиосигналов. Благодаря этому в UMTS реализовано скорое управление мощностью излучения. Иные особенности UMTS:

- Гибкое расположение радиоресурсов сети доступа UTRAN;
- Повышение эффективности применения физической среды передачи маршрута, внедрение нового вида транспортных каналов;
- Конвергенция с аналогичными сетями беспроводного доступа;
- Оптимизация трафика в ядре сети за счет введения медиашлюзов MGW и наибольшего применения в сети протокола IP;
- Обширное разнообразие адаптивных речевых кодеков (AMR-NB, AMR-WB, AMR-WB+);
- Управление качеством сервисов в цепи «Конечный Юзер - Конечный Юзер» QoS Bearer Service;
- Вероятность реализации VoIP.

Дальнейшее формирование UMTS в целях увеличения скоростей передачи данных и минимизации задержек передачи данных при применении протоколов плоскостей пользователя и управления (User - Plane, Control - Plane) определило исследование технологий HSPA (HSDPA/HSUPA), в которых отыскивали близкое использование многопозиционных сигналов с квадратурной амплитудной манипуляцией 16-кам, 64-кам [4]. Особенный интерес в данных разработках в целях минимизации отмеченных задержек уделено модернизации протокола доступа к физической среде передачи MAC.

Технический быстрый подъём, стимулированный внедрением технологии ортогонального частотного разнесения (OFDM) в беспроводных

сетях передачи данных WIFI/WIMAX, не мог обойти стороной и сети мобильной связи. Стартовавший путь исследования технологии HSOPA (High Speed Ofdm Packet Access) преобразовался в теорию долговременной эволюции LTE (Long Term Evolution) системы UMTS.

Новоиспеченный эталон мобильной связи Evolved Utra (E-UTRA) представил себя как эволюцию стандарта 3-го поколения UMTS с увеличением скорости передачи, снижения задержек и улучшение пакетной передачи данных. Эталон E-UTRA, разработанный как стандарт LTE (Long-Term Evolution), описан в функциях 3GPP, начиная с Rel.8. Сообразно собственным параметрам LTE считается гибридом двух довольно различных систем: мобильной связи UMTS и беспроводного доступа WIMAX [5]. Из WIMAX как база физического значения взята разработка ортогонального частотного разнесения (OFDM).

E-UTRA относится к эталонам с частотно-временным разделением каналов. Вероятны реализации сетей E-UTRA с частотным и с временным дуплексом. Из системы UMTS применены только протоколы уровня L2: Mobility Management, Session Management, в наименьшей степени RRC (Radio Resource Control). Конструкция сети E-UTRA считается новым шагом эволюции структуры системы UMTS в работе с коммутацией пакетов, выполняемой в рамках модернизации эталона UMTS в Rel.7 и Rel.8.

1.1 Рубежи развития эталона UMTS. Переход к LTE.

В процессе оптимизации UMTS в 3GPP система была определена комплектом версий или шагов. В процессе эволюции были изобретены последующие этапы: UMTS версии 1999 года (R99 - время от времени именуемая версией 3/Rel-3), UMTS версии 4 (Rel-4), UMTS версии 5 (Rel-5), UMTS версии 6, UMTS версии 7, UMTS версии 8, UMTS версии 9 и 10.

Рассмотрим индивидуальности каждого этапа:

- R99. Описывает универсальную наземную радиосеть (UTRAN) UMTS. К имеющейся сети GSM/GPRS была добавлена подсистема радиосвязи (RNS). Базовая сеть (CN) - это модернизированная сеть GSM/GPRS.

- REL- 4. В 4 этапе были введены мультимедийные шлюзы (MGW), шлюз сигнализации (SGW) и сервер центра коммутации сменной связи (MSC). Данные изменения позволили логически делить абонентские данные и информацию сигнализации в MSC. Были также введены улучшения UTRAN, которые включали большую скорость передачи данных в локальной области до 2 Мбит/с.

- REL- 5. На 5 этапе была добавлена система IP-мультимедиа (IMS - IP Multimedia . Service). Далее домашний регистр (HLR) дополняют сервером по расположению (LCS - Location Services). На данном 5 этапе переход к протоколу IP версии 6 (IPV6) и создание универсальной сети на базе протокола IP.

- REL- 6. На 6 этапе была оптимизирована специфика сервисов широковещательного мультимедиа (Multimedia Broadcast and Multicast Service). Также добавили поддержку хэндовера в режиме пакетной передачи с сетью доступа GERAN [6]. Специфика кодека AMR-WB. Обновление RAN (Iub, Iur интерфейсы). Поддержка Push-сервисов. Архитектура сети GERAN/ UTRAN приведена на рисунке 1.1. Индивидуальностью сети считается внедрение универсальных интерфейсов Iu для взаимосвязи ядра сети с двумя подсистемами радиодоступа: GERAN и UMTS. Следует отметить, что в пакетной передаче терминальной плоскости интерфейсы Gn и Iu(PS) были построены как туннельные соединения (приведены на рисунке 1.1).



Рисунок 1.1 - Архитектура сети GERAN/ UTRAN

- REL - 7. На 7 этапе был добавлен ServID (личный номер услуг связи для подсистемы IMS). Также добавлен сервис мультимедиа телефонии для подсистемы IMS (MTSI). Сервис считается эволюцией становления телефонии, с коммутацией каналов по обычным телефонным сетям (PSTN) и сетям ISDN. Было организовано взаимодействие WLAN-UMTS (QoS услуг, усовершенствование безопасности соединений и биллинга) – разработана служба Seamless Communication [7]. Специфика докладов о местоположении UE, которые были применены для определения скорости и направленности перемещения UE. Помощь системы Galileo (при применении A-GPS). Была задействована вероятность применения подсистемой IMS сквозного канала MBMS. А также приведены советы, которые позволяют уменьшить время установления видеозвонков. Внедрение технологии MIMO в NodeB и UE привело к увеличению системной емкости и спектральной отдачи системы взаимосвязи из-за роста пропускной возможности в направлении вниз.

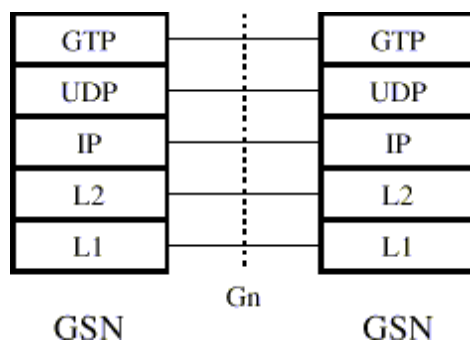


Рисунок 1.2 - Структура туннельного протокола

- REL - 8. На 8 этапе была изобретена специфика системной архитектуры для усовершенствованной системы с коммутацией пакетов EPC (Evolved Packet System). Также были изобретены спецификации Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) и добавлены eNB (E-UTRAN NodeB), объединенные между собой интерфейсом X2. eNB подключены к Evolved PacketCore (EPC) средством интерфейса S1. На рисунке 1.3 показано взаимодействие новейших частей сети: S-GW (Serving Gateway) - обслуживающих шлюзов, содержащих ПО MME (Mobility Management Entity) для управления по протоколу MM.

В итоге была создана такая структура сети, которая позволяла увеличивать скорость передачи данных, снизить задержки, а также поддерживать разные технологии мобильного доступа. Сеть построена по принципу ALL-IP Network (AIPN).

Методика множественного доступа к физическому уровню выполняется по технологии ортогонального частотного разнесения OFDM по линии вниз и по SC-FDMA по линии вверх.

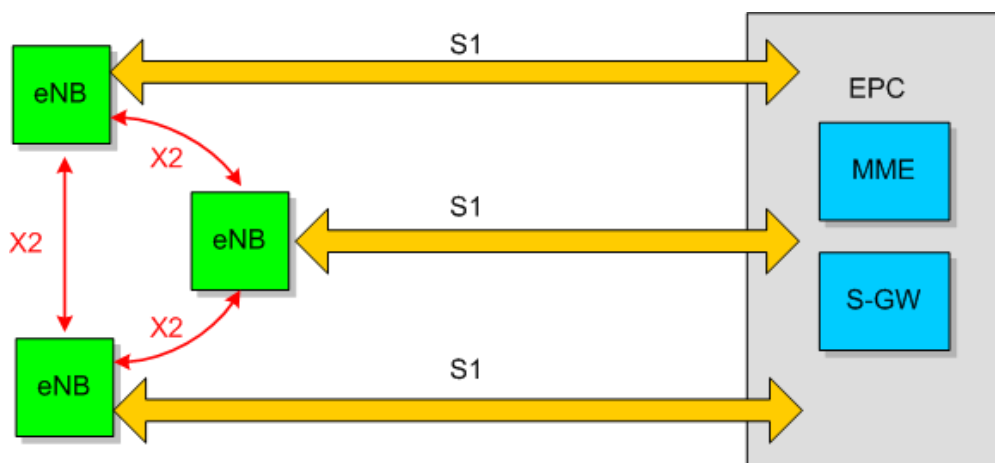


Рисунок 1.3 - Взаимодействие eNB с сетью и обслуживающими шлюзами

- REL - 9. На 9 этапе была улучшена система безопасности, QoS, процесс

установки соединения Home NodeB / ENodeB (E-UTRAN). Было усовершенствовано взаимодействие услуг с коммутацией каналов с предложениями, реализованными на базе технологии IMS (возможный переход организации всех сервисов на IMS).

- REL - 10. 10 этап находится на разработке. Из предложенных параметров разрешено отметить следующие: способы по уменьшению воздействия огромного количества операций Location Area Update / Routing Area Update (LAU/RAU) на сеть в районах с большой плотностью абонентов в час пик. Исследование технологии Haptic (Human-Machine Tactile Communication) и способности ее внедрения в мобильных сетях.

- Версия перехода HSPA Rel.6 к Rel.7. Технологии, предлагаемые в Rel.7, получили название HSPA+. В HSPA+ пиковая скорость на линию вниз была увеличена до 28,8 Мбит/с при использовании много - антенных систем (разработка MIMO), а на линию вверх до скорости 11,5 Мбит/с. В Rel.6 $B = 10,8$ Мбит/с и применении 16-QAM, а при $R_{\text{кода}} > a = 1$ $B = 14,4$ Мбит/с. В Rel.7 добавлена модуляция 64-QAM, что позволяет увеличить скорость передачи в 1,5 раза. При переходе от 4-QAM к 16-QAM требования к отношению сигнал/помеха при приеме сигнала возрастают на 6 Дб, и при переходе от 16-QAM к 64-QAM еще на 6 Дб. Второй путь увеличения скорости передачи на линию вниз состоит в применении технологии MIMO [8]. Схема 2x2 MIMO показана на рисунке 1.4. На базовой станции действуют 2 передатчика, и они передают независимый сигнал (s_1 и s_2 - различные сигналы), с помощью этого скорость передачи по радиоканалу увеличивается в 2 раза. Терминальная станция принимает сигналы на 2 антенны, при этом коэффициенты передачи не могут быть коррелированы между собой.

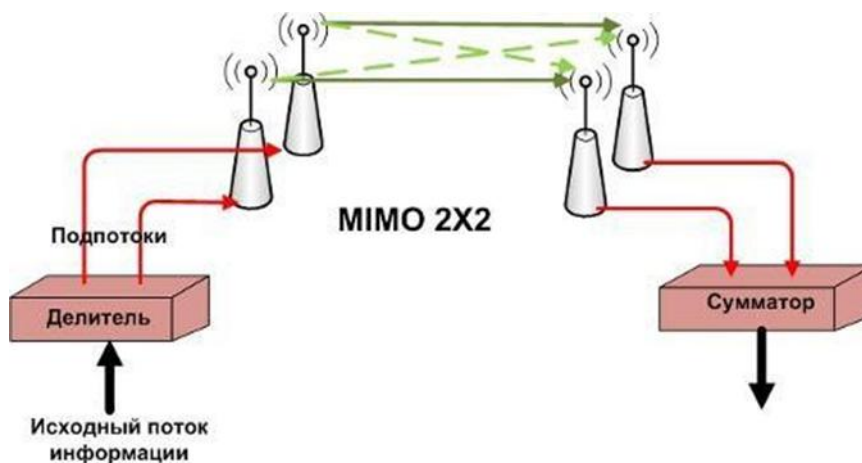


Рисунок 1.4 - Структура передачи при 2x2MIMO

Но из-за мощного воздействия помех свойства принимаемых сигналов оказались невысокими. Для уменьшения воздействия помех предложены различные способы приема сигналов при MIMO.

К примеру, при линейном детектировании при вычислении матрицы $W = H^H$ ее отдельные составляющие умножают на весовые коэффициенты в

зависимости от отношения сигнал/помеха в любом из 4-х соединений радиотракта [9]. Наиболее достоверным и действенным способом представляется осуществление MIMO с обратной связью, где любой из 2-ух передатчиков передает необходимую сумму сигналов s_1 и s_2 . Структурная схематракта передачи MIMO - сигнала приведена на рисунке 1.5.

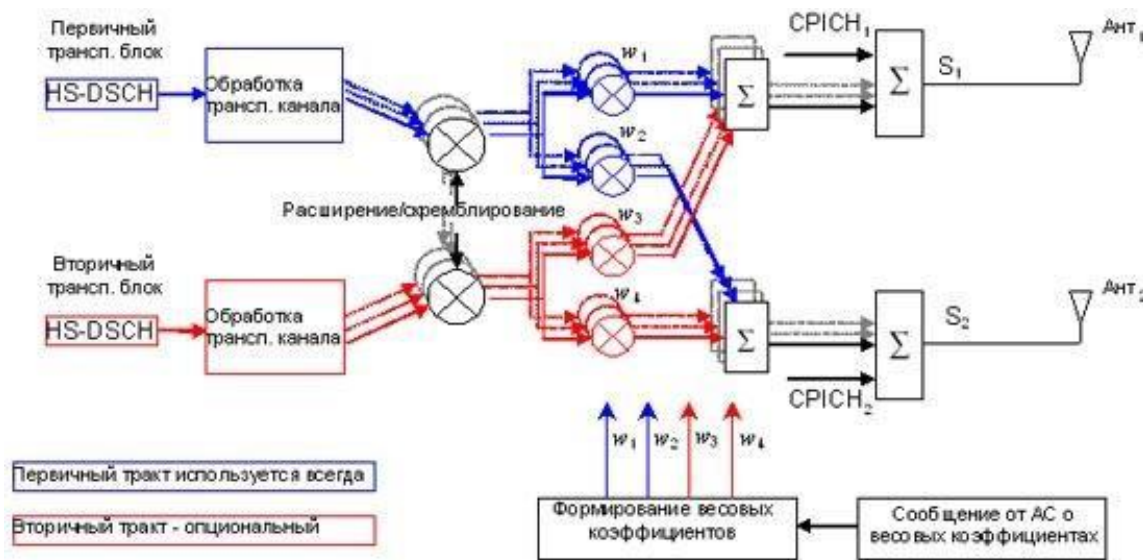


Рисунок 1.5 - Тракт формирования MIMO сигнала

Последующее новшество Rel.7 состоит в способности применения технологии HSDPA при передаче информации по транспортному каналу FACH. Во всех предыдущих релизах данная возможность отсутствовала. Отмеченная вероятность принципиальна при реализации сервиса MBMS. А также для увеличения качества приема мультимедийного вещания предложена новая разработка MBSFN - Multicast Broadcast Single Frequency Network. Для этого потребовалась синхронизация передач мультимедийного вещания соседними базовыми станциями и внедрение для одинаковых программ одного скремблирующего кода. На рисунке 1.6 указано как в Rel.7 учтена вероятность постепенного перехода структуры сети на пути от UTRAN к LTE [10]

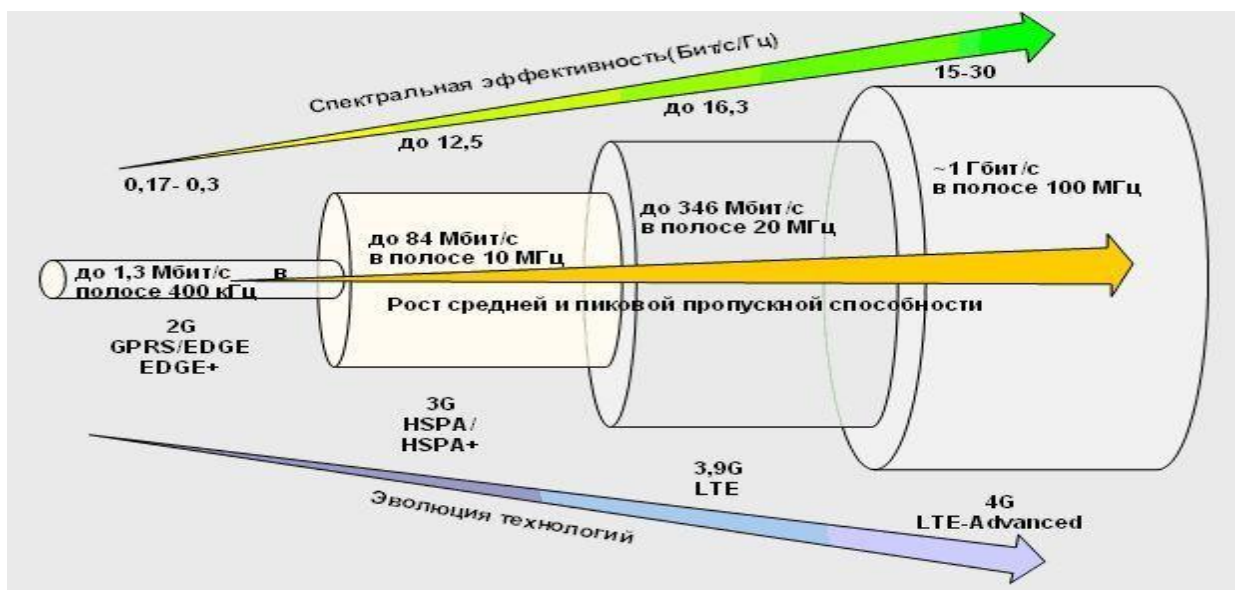


Рисунок 1.6 - Переход структуры сети от UTRAN к LTE

Структура LTE в Rel.8 предугадывает облегчение структуры сети по двум частям: шлюза доступа (a-GW) в ядре сети и измененного узла базовых станций eNode B. Access Gateway (a-GW) охватывает ПО протокольного значения MME (Mobility Management Entity), и ПО пользовательской плоскости шлюза. В разглядываемой архитектуре сети значительно уменьшается задержка при передаче пакетного трафика. В Rel.7 учтен логический переход от Rel.6 к Rel.8. На главном этапе в пользовательской плоскости избавляют буферизацию трафика в SGSN: через него проходит сквозной туннель от GGSN к RNC. Дальше функции контроллера на уровнях RLC и MAC обработки пакетного трафика передают в Node B, где происходит принятие решения о выделении канального ресурса и организации пакетной передачи с внедрением технологий HSPA.

1.2 Краткий обзор основных параметров технологии LTE.

Технология LTE представляет собой эфирный интерфейс, обладающий большой гибкостью. Вид сети носит название E-UTRAN – Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network развивающаяся универсальная наземная сеть радиодоступа. Ниже рассмотрены основные параметры технологии LTE:

1. Технология множественного доступа:
 - прямой канал (Downlink – DL) – OFDMA;
 - обратный канал (Uplink – UL) – SC-FDMA;
2. Рабочий диапазон частот: 450 МГц; 700 МГц; 800 МГц; 1800 МГц; 2,1 ГГц; 2,4 - 2,5 ГГц; 2,6 - 2,7 ГГц.
3. Битовая скорость:
 - прямой канал (DL) MIMO 2TX×2RX: 100 - 300 Мбит/с;

- обратный канал (UL): 50 - 172,8 Мбит/с.
- 4. Ширина полосы радиоканала: 1,4 - 20 МГц.
- 5. Радиус ячейки: 5 – 30 км.
- 6. Емкость ячейки (количество обслуживаемых абонентов):
 - более 200 пользователей при полосе 5 МГц;
 - более 400 пользователей при полосе больше 5 МГц.
- 7. Мобильность: скорость перемещения до 250 км/ч.
- 8. Параметры MIMO:
 - прямой канал (DL): 2TX×2RX, 4TX×4RX;
 - обратный канал (UL): 2TX×2RX.
- 9. Значение задержки (latency): 5мс.
- 10. Спектральная эффективность: 5 бит/сек/Гц.
- 11. Поддерживаемые типы модуляции:
 - прямой канал (DL): 64 QAM, QPSK, 16 QAM.
 - обратный канал (UL): QPSK, 16 QAM.
- 12. Дуплексное разделение каналов: FDD, TDD.

1.3 Архитектура сети LTE. Основы технологии.

Одной из важных задач технологии LTE считается создание отдельной структуры радиодоступа для мобильных сетей связи и беспроводного доступа на уровне эталона WiMAX. Структура сети LTE была разработана для того, чтобы обеспечить поддержку пакетного трафика с «бесшовной» («гладкой», seamless) мобильностью, минимальными задержками доставки пакетов и высокими признаками свойства сервиса. Главными целями исследования и разработки технологии LTE считаются: снижение цены на услуги передачи данных, увеличение трафика, а также скорости передачи данных, вероятность предоставления наибольшего диапазона услуг по более низкой стоимости, увеличение гибкости сети и развитие существующих систем мобильной связи. Основное различие технологии LTE от остальных технологий мобильной связи содержится в том, что данный стандарт построен на базе IP-технологий. Радиоинтерфейс LTE обеспечивает улучшенные технические свойства: максимальная скорость передачи данных более 300 Мбит/с, время задержки посылки пакетов до 20 мс, наиболее высокую спектральную эффективность в сравнении с существующими стандартами беспроводного мобильного доступа третьего поколения (3G).

Мобильность обеспечивается двумя видами: роумингом – или дискретной мобильностью и хэндовером – непрерывность связи. Для терминалов LTE (т.е. абонентов) обеспечивается полное покрытие услуг беспроводного широкополосного доступа, с поддержкой процедур роуминга и хэндовера со всеми существующими сетями [11].

Пакетное предоставление данных позволяет обеспечить все сервисы, в том числе передачу голосового трафика. В отличие от основных сетей

прошлых поколений, в которых имеется тотальная разнотипность и иерархичность сетевых узлов, архитектуру сетей LTE можно назвать "простой", поскольку вся сетевая взаимосвязь происходит между двумя узлами: базовой станцией или В-узлом (Node-B, eNB) и блоком управления мобильностью (MME - Mobility Management Entity), включающим сетевой шлюз (GW, Gateway), а также имеются объединенные блоки MME/GW.

БС отвечает за функциями, такими как: шифрование, надёжная доставка пакетов, управление радио ресурсами, сжатие заголовков. Блок Управления Мобильностью функционирует только со служебной информацией — сетевой сигнализацией, и поэтому IP-пакеты, которые содержат информацию, через него не проходят. Главная функция данного блока - это управление терминалами пользователей, которые находятся в режиме ожидания, в том числе авторизация и аутентификация, перенаправление и исполнение вызовов, роуминг и хэндовер, установление служебных и пользовательских каналов.

Сетевые шлюзы делятся на два: обслуживающий шлюз - S-GW (Serving Gateway) и пакетный шлюз - P-GW (Packet Data Network Gateway). Обслуживающий шлюз работает как блок управления локальной мобильностью, принимает, и пересылает пакеты данных, обслуживаемых абонентскими терминалами, которые относятся к БС. Пакетный Шлюз представляется как интерфейс между БС и внешними сетями, и выполняет отдельные функции IP-сетей: маршрутизация, фильтрация пакетов, распределение адресов.

В основу принципов построения сети LTE положено разделение двух аспектов: физическая реализация сетевых блоков и формирование функциональных связей между ними. Основным делением на физическом уровне является разделение архитектуры сети на область (domain) пользовательского оборудования UED (User Equipment Domain) и область сетевой инфраструктуры ID (Infrastructure Domain). А функциональные связи учитываются в рамках слоя (stratum). Главные сведения о стандарте LTE приведены в спецификациях E-UTRA Rel.8 [1]

В E-UTRA реализованы основные проблемы эволюции системной архитектуры SAE (System Architecture Evolution) при передаче трафика. Структура E-UTRA указана на рисунке 1.7 – где включены: ядро пакетной сети EPC (Evolved Packet Core), узлы базовых станций eNodeB, а также интерфейсы S1 [2] и X2 [3].

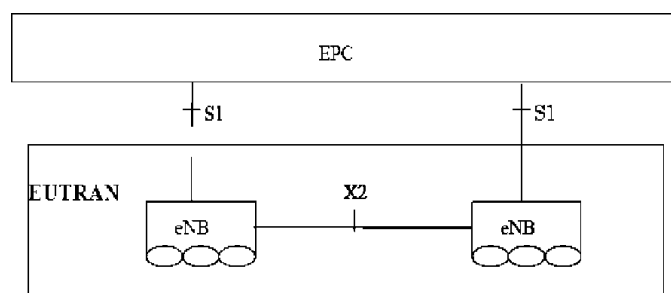


Рисунок 1.7 - Базовая архитектура сети E-UTRA

EPS состоит из шлюзов доступа, которые условно обслуживают абонентские терминалы, и становятся S-GW (Serving Gateway). eNodeB накапливает функции имеющихся Node B и контроллеров RNC, достигающий

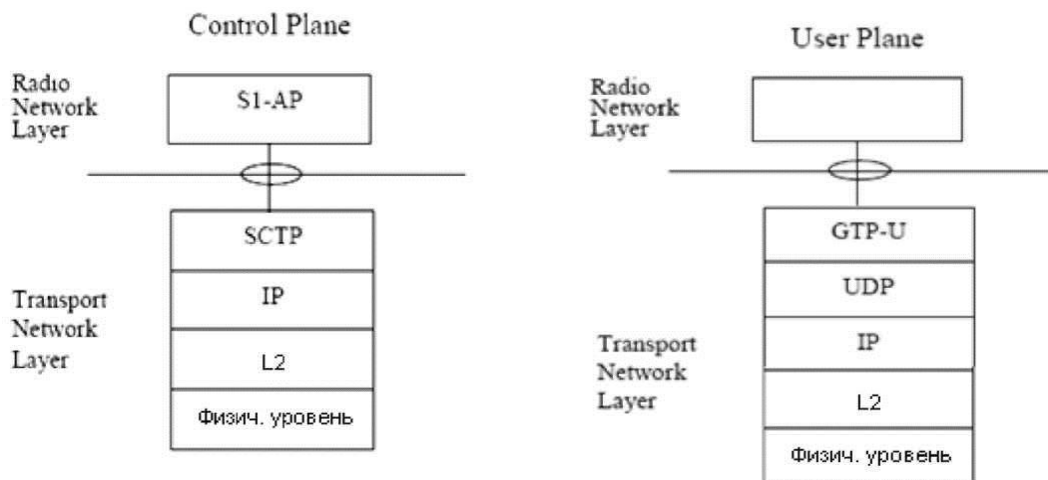


Рисунок 1.8 - Стек протокола интерфейса S1

обработки пакетного трафика и распределение канального ресурса. В E-UTRA вынесен принцип закономерного деления маршрутных сетей сигнализации и передачи данных. S1 – это стек протоколов плоскости управления интерфейса: S1-MME (Mobility Management Entity) указан на рисунке 1.8 а (SCTP - S Common Transport Protocol), а стек протоколов в пользовательской плоскости (туннельный протокол на уровне L2) на рисунке 1.8 б.

Закономерная структура сети E-UTRA указана на рисунке 1.9, где красным обозначены интерфейсы и новейшие составляющие.

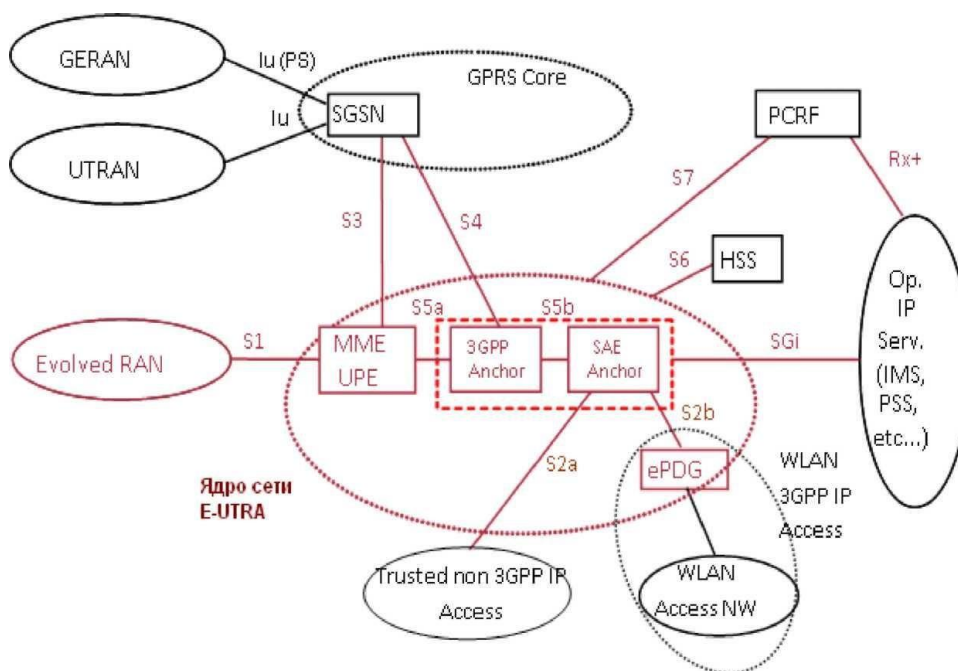


Рисунок 1.9 - Структура пакетной сети Release 8

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

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

Существующие системы 3GPP (GSM и WCDMA/HSPA) и 3GPP2 (CDMA2000 1xRTT, EV-DO) интегрированы в систему LTE за счет использования стандартизованных интерфейсов, обеспечивающих оптимизированную мобильность. Для систем 3GPP это означает наличие сигнального интерфейса между CDMA RAN и новой опорной сетью. Такая интеграция обеспечит поддержку, как двойных, так и одиночных радио хэндоверов, обеспечивая возможность плавной миграции к LTE.

Управление сигнализацией, например, для обеспечения мобильности, поддерживается узлом управления мобильностью (Mobility Management Entity, MME), выделенным из гейта (Gateway). Это упрощает оптимизацию развертывания сети и обеспечивает возможность гибкого масштабирования ее емкости.

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

Существующие системы GSM и WCDMA/HSPA интегрированы с системой LTE с помощью стандартизованных интерфейсов между SGSN и опорной сетью LTE. Как ожидается, попытка интегрировать CDMA доступ также приведет к обеспечению возможности поддержания мобильности между сетями CDMA и LTE. Такая интеграция также должна обеспечивать, как дуальный, так и одиночный handover вызовов, что обеспечивает гибкую возможность миграции из сетей CDMA в сети LTE.

В LTE-SAE действует концепция QoS (качества услуги), основанная на понятии класса услуги. Это обеспечивает простое, но эффективное решение, позволяющее оператору предлагать дифференцировать предоставляемые пакетные услуги.

1.4 Структура канального ресурса в сетях LTE

На физическом уровне эталона E-UTRA применяют технологию ортогонального частотного разнесения (OFDM) с модуляцией 4-ФМ, 16-КАМ и 64-КАМ, с максимальным количеством поднесущих частот в рабочей полосе до 2048. Радиоинтерфейс сети LTE E-UTRAN содействует два способа дуплексного разнесения каналов: частотный FDD и временной TDD [12]. Функционирование сетей LTE имеет возможность осуществляться в частотных спектрах с разной шириной.

Сигналы нисходящего и восходящего направлений способны занимать полосы от 1,4 до 20 МГц в соответствии от численности функциональных ресурсных блоков. Предоставление информации в восходящем и нисходящем направлениях организована в кадрах, с продолжительностью в 10 мс. Кадры разделяются на более маленькие кратковременные текстуры – слоты.

В режиме с частотным разнесением FDD кадр распределяется на 20 слотов, которые нумеруются от нуля до 19-и, длительностью равной 0,5 мс. В режиме FDD временной ресурс в пределах кадра поделен напополам для передачи в альтернативных направлениях. Физические каналы в режиме FDD в контрастных направлениях имеют непреременный дуплексный разнос. Режим временного разнесения каналов TDD владеет не совпадающую природу. Предоставление данных в режиме TDD происходит сразу в двух направленностях в одном спектре частот.

Индивидуальностью радиоинтерфейса в линии «вниз» сети E-UTRAN считается внедрение технологии многочисленного доступа OFDMA – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением.

Одна из главных целей применения технологии OFDMA считается борьба с помехами, стимулированных многолучевым распространением сигнала, и OFDM-сигнал рассматривается как много медленно преобразовываемых узкополосных сигналов, а не как один быстро изменяемый широкополосный сигнал. Создание OFDM-сигнала в передатчике базовой станции сети LTE E-UTRAN показано на рисунке 1.10.

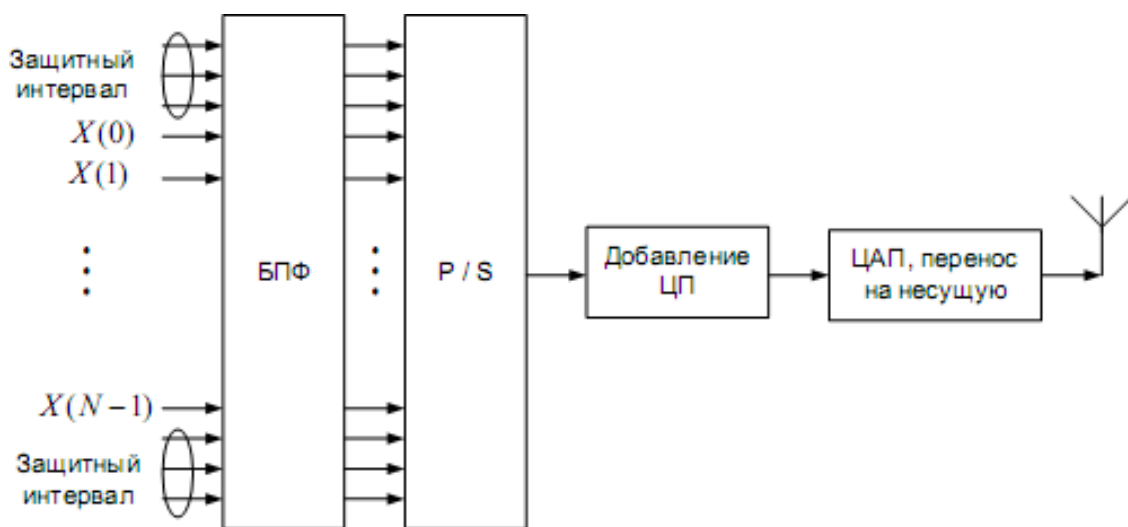


Рисунок 1.10 - Структурная схема формирования OFDM-сигнала

Для полосы «вниз» сети E-UTRAN отнесены три физических и четыре маршрутных каналов:

- Физический канал управления «вниз» – PDCCH (Physical Downlink Control Channel);
- Общий физический канал линии «вниз», созданный для передачи данных и мультимедиа с высокой скоростью – PDSCH (Physical Downlink Shared Channel);
- Общий физический канал управления, который передает служебную информацию – CCPCH (Common Control Physical Channels);
- Транспортный вещательный канал – BCH (Broadcast Channel);
- Транспортный канал вызова – PCH (Paging Channel);
- Общий транспортный канал линии «вниз» – DL-SCH (Downlink Shared Channel);
- Транспортный канал вещания в группе – MCH (Multicast Channel).

Для полосы «вверх» радиоинтерфейса сети LTE E-UTRAN был разработан SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) – многократный доступ с мультиплексированием и с частотным разнесением передачи на одной несущей. Схема передачи данных технологии SC-FDMA указана на рисунке 1.11.

Для исключения встречного воздействия абонентов по линии «вверх» сети E-UTRAN вводятся циклические префиксы, а также употребляются действенные эквалайзеры в принимающих терминалах.

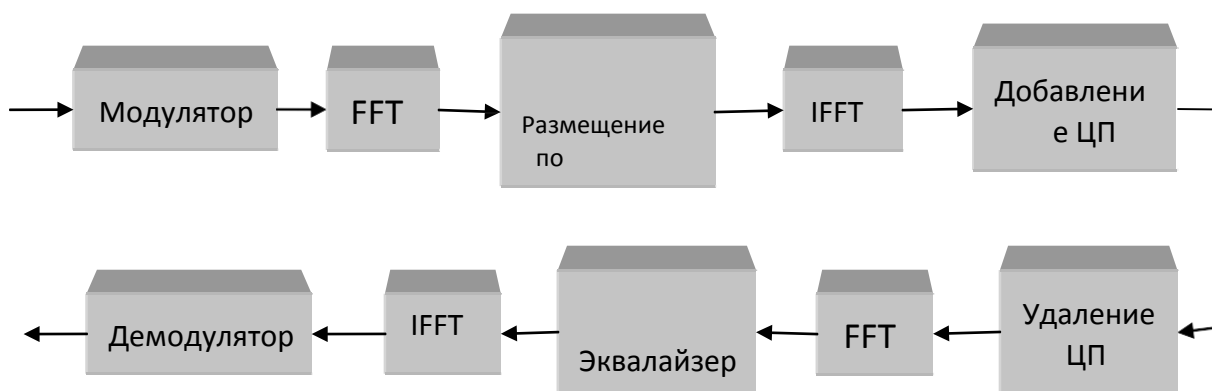


Рисунок 1.11 - Схема передачи данных с помощью технологии SC-FDMA

Разделение частотного ресурса между пользователями выполняется ресурсными блоками, каждому из которых подходит полоса частот 180 кГц, и это соответствует 12 поднесущим при разносе между соседними поднесущими частотами в 15 кГц. Наибольшая численность доступных ресурсных блоков находится в зависимости от системы спектра частот, смысл которого зачастую доходит до 20 МГц.

Для полосы «вверх» сети LTEE-UTRAN отнесены три физических и два транспортных каналов:

- Физический канал самостоятельного доступа – PRACH (Physical Random Access Channel);
- Физический канал управления «вверх» – PUCCH (Physical Uplink Control Channel);
- Физический распределительный транспортный канал линии «вверх» – PUSCH (PhysicalUplinkSharedChannel);
- Транспортный канал самостоятельного доступа – RACH (Random Access Channel);
- Совмещенный канал линии «вверх» – UL-SCH (Uplink Shared Channel).

2 Выбор оборудования для взаимодействия стандарта LTE с UMTS/GSM и стандартами 3GPP.

Полезность мобильности пользовательского терминала при его движении из зоны сервиса одной сети в зону сервиса другой – считается принципиальной задачей, образующейся при содействии сети LTE с сетями мобильной связи технологий 3GPP (UMTS/GSM/HSPA+). Взаимодействие сети LTE с сетями 3GPP содержится в протекции дискретной мобильности (роуминга) и предоставления постоянной, непрерывной мобильной связи (хэндовера).

Главными интерфейсами взаимодействия сети LTE с сетями 3GPP считаются интерфейсы S3, S4 и S12. Эти интерфейсы гарантируют взаимодействие закономерного элемента управления мобильностью MME и шлюза S-GW сети LTE с гарантийным узлом SGSN сетей 3G с поддержкой туннельного протокола GTP (GPRSTunnellingProtocol). Протокол GTP специализирован для передачи данных плоскости управления (протокол GTP-C) и для передачи данных плоскости абонента (протокол GTP-U). В критериях роуминга шлюз S-GW визитной сети взаимодействует со шлюзом P-GW (шлюз взаимодействия с пакетными сетями) домашней сети [13].

Сотрудничество сети LTE с другими 3GPP для предложения обычных сервисов телефонии исполняется с поддержкой как классической технологии коммутации каналов (TDM), так и технологии коммутации пакетов на базе сервисной системы IMS.

Хэндовер между сетью LTE и сетью 3GPP при совершении голосового вызова воспроизводится с поддержкой взаимодействия закономерного элемента MME с сервером MSC по интерфейсу Sv в случае вызова из сети LTE в обычный домен коммутации каналов (CS-домен); а также с поддержкой согласования закономерного элемента MME с узлом SGSN по интерфейсу S3 в эпизоде голосового вызова из сети LTE в домен коммутации пакетов (PS-домен).

Согласование сети LTE с сетями не-3GPP делится на сотрудничество с сетями с гарантированной сохранностью – «надежными» и сотрудничество с сетями с негарантированной сохранностью – «ненадежными». В качестве «достоверных» сетей имеют все шансы выступать присоединенные сети остальных стандартов (cdma2000, WiMAX), в качестве «не внушающих доверие» - общественные IP-сети Интернета. Согласование сети LTE с «достоверными» сетями стереотипов не-3GPP исполняется с помощью шлюза P-GW, а сотрудничество с «не внушающими доверие» сетями – с помощью шлюза ePDG.

При создании базовой сети EPC «все через IP» переносимость пользовательского терминала при содействии сети LTE с сетями не-3GPP базирована на протоколах управления мобильностью в IP-сетях, таких как:

- протокол управления мобильностью на базе хоста – НВМ (Host Based Mobility) – MIPv4, DSMIPv6;

- протокол управления мобильностью на базе сети – NBM (Network Based Mobility) – PMIPv6.

Распознавание пользовательского терминала по IP-адресу и маршрутизация осуществляется так же как в IP-сетях.

2.1 Управление мобильностью абонентских терминалов.

В сетях LTE для каждого абонентского терминала установлены два состояния по отношению к RRC-подуровню: соединение (RRC CONNECTED) и ожидание (RRC IDLE). При работе абонентский терминал переходит из состояния «ожидания» в состояние «соединения», и когда соединение прошло успешно; далее, абонентский терминал возвращается назад в состояние «ожидания», разорвав соединение на RRC-подуровне. Изменение состояний указано на рисунке 2.1.

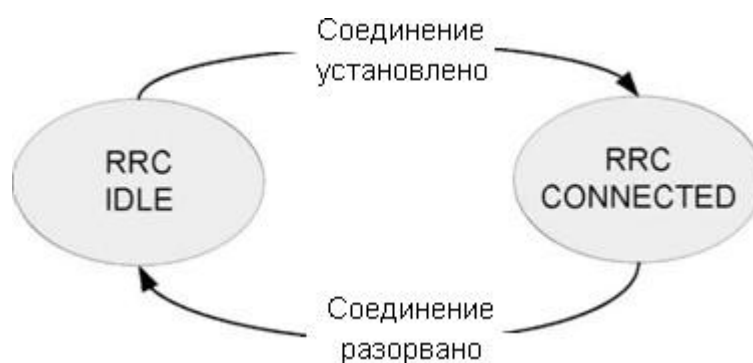


Рисунок 2.1 - Изменение состояний абонентского терминала

В состоянии RRC-ожидания, абонентский терминал имеет возможность проводить мониторинг вызывного канала, обретать вещательную информацию, производить измерения, которые относятся к обслуживающей соте, и исполнять ее модифицирование. Не считая того, что в данном состоянии вероятно установка конкретного цикла прерывчатой передачи для экономии излучаемой мощности абонентского терминала. В данном состоянии управление мобильностью исполняется лично абонентским терминалом.

В состоянии RRC-соединения возможно происходит предоставление отдельной информации, имеющей отношение к конкретному абонентскому терминалу, в двух направленностях, а также вещательной (пакетной) информации в нисходящем направлении, установка цикла прерывчатой передачи. Абонентский терминал выполняет прогноз правящих каналов, связанных с совместными транспортными каналами, чтобы найти график направления пакетов данных. Для данных целей гарантируется обратная ассоциация, которая дает информацию о текущем качестве канала, выполняются нужные исследования, которые можно отнести к

обслуживающей соте, также отсылаются в сеть отчёты о всех модификациях. В отличие от RRC-ожидания, в состоянии RRC-соединения управление маневренностью производится с помощью сети. На рисунке 2.2 представлен пример хэндовера активного абонентского терминала, перемещающегося из соты БС1 в соту БС2. Важной индивидуальностью всех мобильных сетей сотовой связи, в том количестве, сетей LTE, считается поддержка "бесшовной" мобильности пользователя по отношению к замене разных базовых станций, которые обслуживают узлы и сети (т. е. сетевых шлюзов). Запросы к результативности мобильности еще наиболее увеличиваются при применении восприимчивых к задержкам пакетов сервисов, как VoIP. Как известно, в базе бесшовной мобильности лежат разные упражнения хэндовера — эстафетное предоставление функционального (т. е. находящегося в режиме сеанса взаимосвязи либо соединения) пользователя при передвижении разных зон.

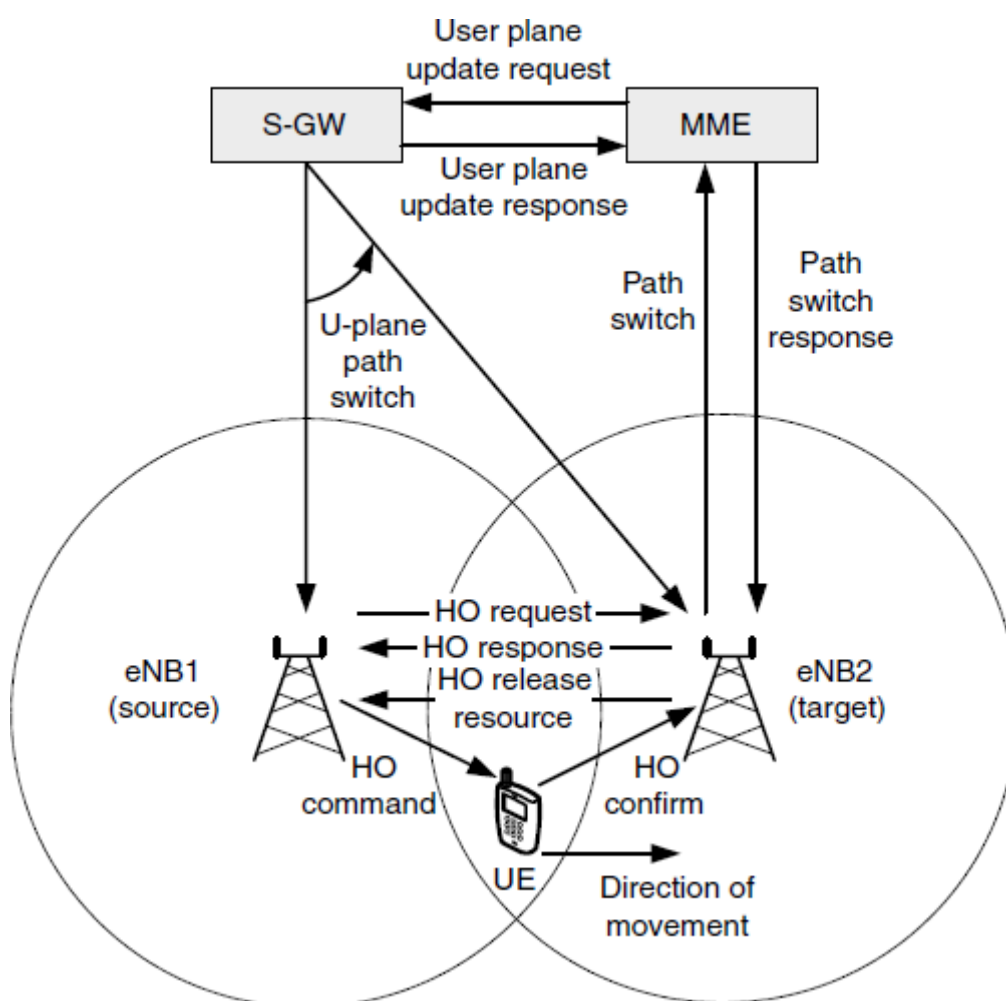


Рисунок 2.2 - Активный хэндовер

Ясно, что для абонента замена сот (БС) проходит намного чаще, нежели замена шлюза и, тем более, лично самой базовой сети. Потому для подготовки к исполнению хэндовера употребляется сигнализация по интерфейсу X2, деятельному между разными БС.

Эффективность исполнения хэндовера считается одним из более принципиальных характеристик свойства работы сетей; не до конца отрегулированные хэндоверные характеристики (степень принятия решения, гистерезис и др.) имеют все шансы привести к лишней загрузке служебных каналов, в том числе и к утратам сеансов связи, обусловленных плохими хэндоверами. Описанию алгоритмов хэндовера, исполняемых в разных сетях, приурочено огромная численность спецификаций (в частности, операция хэндовера довольно подробно написана в спецификации TS 36.413). Далее в качестве примера, в отсутствие жалоб на какое-нибудь глубочайшее исследование, осмотрен обычный образ LTE-хэндовера при замене соты в пределах одних и тех же блоков управления мобильностью и обслуживающих узлов.

В отличие, например, от сетей GSM, где анализ окружающей обстановки и выбор соты-кандидата на хэндовер осуществляется контроллером базовых станций, в сетях LTE подобные действия доверены самому абонентскому терминалу, хотя, конечно, окончательное решение о хэндовере принимается сетью.

По мере движения указанного направления абонентский терминал отправляет запрос об исследованиях обслуживающей базовой станции БС1, из чего следует, что качество сигнала, который принимается от соседней базовой станции БС2, стало лучше, чем от БС1. Готовый хэндовер БС1 по интерфейсу X2 отправляет в БС2, называемую в этом случае *целевой*, запрос на хэндовер:

HO REQUEST.

При этом, на окончательное ответ о хэндовере может повлиять текущий приоритет абонента, информации о котором передаётся по EPS-каналу.

Целевая БС2 конфигурирует требуемые ресурсы в соответствии с принятой по EPS-каналу информации QoS и резервирует для пользователя мобильный идентификатор C-RNTI (Cell Radio Network Temporary Identifier), а также, преамбулу канала случайного доступа. Разумеется, идентификатор C-RNTI является уникальным для каждого АТ в пределах соты.

После того, как целевая БС2 отвечает ещё обслуживающей БС1 о готовности выполнить хэндовер:

HO RESPONSE,

БС1 выдаёт команду АТ:

HO COMMAND

о смене радиоканала, в которой содержатся необходимые параметры: новый временный идентификатор C-RNTI (тот, что был зарезервирован), преамбула канала случайного доступа и время её существования и др.

После получения команды на хэндовер АТ синхронизируется в новой соте, и осуществляет доступ в сеть через канал RACH; сеть, в свою очередь, выделяет АТ необходимые ресурсы и устанавливает необходимое время упреждения. Осуществив таким образом, доступ к сети, АТ отправляет своей новой обслуживающей БС2 сообщение, подтверждающее выполнение хэндовера:

HO CONFIRM,

БС2 оповещает об этом блок управления мобильностью:

PATH SWITCH,

а тот — обслуживающий узел сообщением:

USER PLANE UPDATE REQUEST,

в котором АТ теперь помечается как обслуживаемый БС2.

Далее обслуживающий узел переключает управление АТ на БС2, отправляя туда через блок управления мобильностью соответствующие команды:

USER PLANE UPDATE RESPONSE,

А также:

PATH SWITCH RESPONSE.

После получения команды:

PATH SWITCH RESPONSE,

БС2 информирует БС1 об успешном хэндовере, высылая ей сообщение о высвобождении ресурсов:

HO RELEASE RESOURCE.

которые до этого были зарезервированы для АТ. На этом процедура хэндовера считается выполненной.

В процессе подготовки и исполнения хэндовера между базовыми станциями БС1 и БС2 могут устанавливаться туннели: один — для передачи

данных по восходящему направлению, другой — для передачи данных по нисходящему направлению. Это делается в случае переполнения буферов для того, чтобы обеспечить передачу длинных пакетов.

Как уже было отмечено выше, при выполнении процедуры хэндовера пользователю присваивается временный идентификатор C-RNTI. Типичные идентификаторы присваиваются пользователю, абонентскому и сетевому оборудованию также и при совершении разных аналогичных процедур, связанных и с сетью доступа, и с базовой сетью.

Также, в механизмах управления мощностью TPC (Transmit Power Control) по физическим восходящим каналам PUSCH и PUCCH используются соответствующие идентификаторы TPC-PUSCH и TPC-PUCCH. Для глобальной расшифровки блока управления мобильностью используется идентификатор GUMMEI (Globally Unique MME Identity), который конфигурируется из идентификатора самой сети сотовой связи путём добавления кода группы блоков и кода самого блока управления мобильностью.

Всемирная идентификация мобильных сетей LTE происходит с помощью сотового глобального идентификатора ECGI (E-UTRAN Cell Global Identifier), который формируется добавлением к сетевому идентификатору локального (т. е. используемого в пределах одной сети) идентификатора соты CI (Cell Identity). Типичным образом происходит повсеместная идентификация базовых станций.

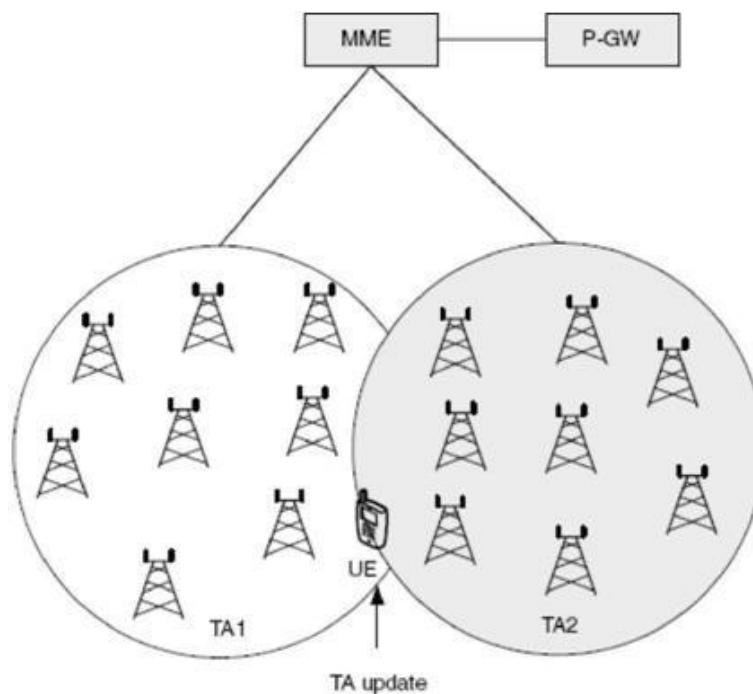


Рисунок 2.3 - Зона отслеживания

На рисунке 2.3 указано управление мобильностью абонентского терминала, который находится в состоянии ожидания. Для этого ввели

понятие зоны отслеживания (ТА, Tracking Area) площадь, которая покрывает зону обслуживания нескольких базовых станций. С каждой зоной отслеживания связан аналогичный идентификатор ТАИ (Tracking Area Identity). АТ может одновременно зарегистрирован сразу в нескольких зонах отслеживания, это позволяет экономить энергию в условиях высокой мобильности, и поэтому отпадает необходимость в постоянном обновлении местоположения.

2.2 Услуги предоставляемые сетями LTE.

Сервисы, предоставляемые сетями LTE, имеют наиболее просторный диапазон в сравнении с сетями 2G/3G [14]. Первостепенно это связано с наиболее высокой пропускной способностью сети и увеличением скорости передачи данных, а так же с переходом на стандарты IP. Главные оказываемые предложения сетью LTE считаются следующие: передача Интернет – файлов;

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

2.3 Мультимедийные сообщения.

Мультимедийные сообщения рассматривают как обновление сервисов коротких сообщений (SMS, Short Message Service), когда наравне с текстом передаётся звук и изображение. Различительными чертами таких сервисов является ограниченный размер данных (в отличие, от потоковых услуг) и то, что она производится не в режиме реального времени.

Можно кратко рассмотреть основные параметры организации сети LTE с сервисом мультимедийных сообщений.

На рисунке 2.4 указана структурная схема организации разных сетей в общую сеть с поддержкой сервиса мультимедийных сообщений, для которой был введен ряд базовых понятий.

MMS-окружение – это окружение мультимедийных сервисов (MMSE, Multimedia Messaging Service Environment) — или совокупность сетевых частей, которые отвечают за передачу мультимедийных сообщений и находятся под управлением одного узла. В случае роуминга гостевая сеть рассматривается как дробь MMS-окружения, хотя домашние абоненты данной сети рассматриваются как часть другого MMS-окружения.

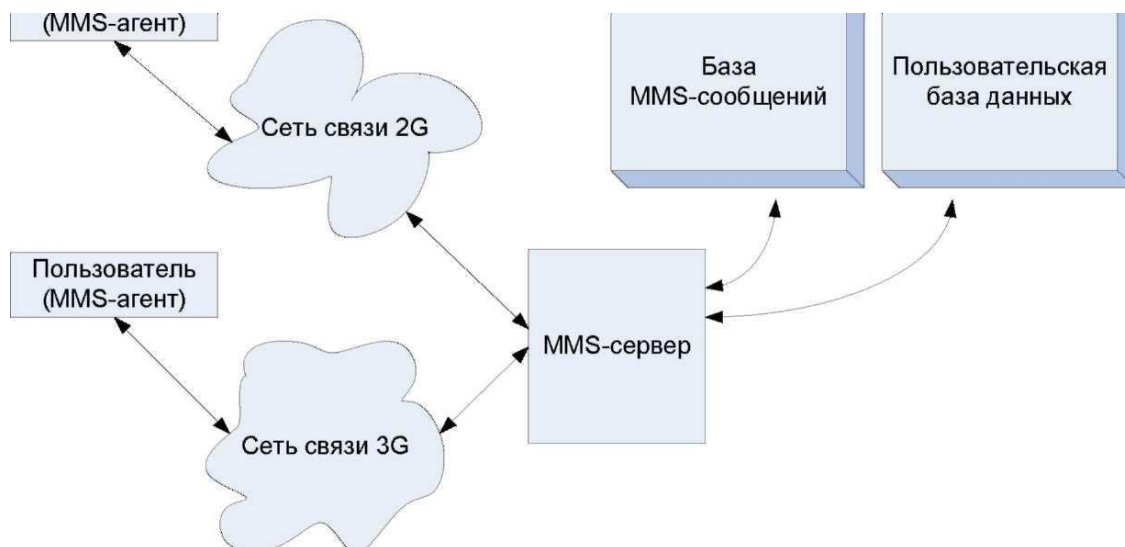


Рисунок 2.4 - Структурная схема мультимедийных сообщений сети LTE

MMS-сервер служит для хранения и управления входящими и исходящими сообщениями, а также их пересылкой между разными узлами — в данном случае его называют транзитным MMS-сервером.

В зависимости от потребностей и марки производителя транзитный сервер может реализован вместе с базовым MMS-сервером, или отдельно от него. А также на MMS-сервер возложены прямые обязанности тарификации мультимедийных сервисов и составления отчетов (CDR, Charging Data Record).

Абонентская базы данных, в которой хранится вся персональная информация о подписчиках на мультимедийные серверы.

Абонентский MMS-агент — программный продукт, который находится в АТ или в другом подключённом к нему устройстве, обеспечивает возможность создавать, просматривать и управлять (принимать, отправлять, удалять) мультимедийными сообщениями.

2.4 Оптимизация сети

Кроме обычных сервисов по определению расположения, данные местоположения имеют все шансы употребляться при проектировании для оптимизации производительности сети, при взаимодействии радиоресурсами, мобильностью и эксплуатацией сети. Это позволяет операторам при планировании и обслуживании сети модифицировать сеть по информации о местоположении мобильных терминалов.

Информация о расположении пользователей имеет ценность при оценке размеров сети, конфигурации политик тарификации и оптимизации системы управления сетью (например, с потерей вызовов, блокировками и удалением

отказов). Кроме этого, вся информация может использоваться в качестве исходных данных для мониторинга мощности передатчика базовой станции и создания диаграммы направленности при адаптивном радиопокрытии. Эти услуги не требуют точности информации о расположении, которая может использоваться для других сервисов.

Мониторинг режима передачи обслуживания (хэндовер) дает аналогичный пример расширения сети с использованием информации о местоположении. К примеру, на рисунке 2.5 мобильный терминал находится внутри микросоты, а макросота покрывает кластер микросот. Предположим, что мобильный абонент быстро двигаясь, пересекает микросоту. Быстро движущийся мобильный терминал должен снова выбирать микросоту зачастую, создавая нежелательную нагрузку в сети. На основании полученной информации о расположении можно выполнить предварительные действия и быстро движущийся мобильный терминал может быть передан макросоте, это уменьшает дополнительную нагрузку на сеть. И наоборот: если, медленно движущийся мобильный терминал может быть передан из макросоты в микросоту для уменьшения потребляемой мощности и уровня создаваемых помех.



Рисунок 2.4 – Пример передачи обслуживания (хэндовера) с использованием информации о местоположении

Информация о положении передает операторам много новых возможностей с точки зрения расширения сети и систем управления сетью. Главная задача измерений, основанных на расположении, для оптимизации сети может повыситься, если их применять вместе с функциями управления сетью, расширяя интеллектуальность радиосети. В этом отношении, скорее всего, большую проблему представляет надобность обеспечения конфиденциальности абонентского терминала.

2.5 Качество обслуживания в сетях LTE.

Концепция системы QoS для сетей UMTS мобильной связи 3-го поколения определена в спецификации TS 23.107, и используется также для сетей LTE 4-го поколения.

При разработке и внедрении системы качества обслуживания к атрибутам такой системы предъявляются следующие общие требования.

Количество и значения атрибутов должны быть таковы, чтобы обеспечить возможность многоуровневой градации пользователей.

Использование механизма QoS не должно мешать политике эффективного использования радиоресурсов, независимому развитию базовой сети и сети радиодоступа. Все атрибуты и их комбинации должны иметь однозначно определённые значения.

Исходя из перечисленных общих требований к качеству обслуживания, в спецификациях сформулированы конкретные технические требования, касающиеся набора параметров QoS.

Механизмы QoS функционируют в рамках одноранговой (peer to peer) модели организации связи в границах "пользовательский терминал — сетевой шлюз", обеспечивая взаимно-однозначное отображение между сетевыми услугами и внешними приложениями.

Управление качеством обслуживания осуществляется на основе конечного, по возможности, минимального набора параметров QoS, поддерживающих эффективное использование радиоресурсов, а также асимметричное функционирование сквозных каналов.

Методы управления QoS реализуются на основе последовательных сессий, применительно к пакетной передаче данных, в том числе, к мультиточковой передаче, когда несколько различных потоков имеют один и тот же адрес.

Сетевые ухудшения и усложнения, вызванные внедрением системы качества обслуживания, должны быть по возможности минимизированы, также, как и количество дополнительной информации, хранимой и передаваемой в сети. Пользовательские приложения должны иметь возможность индикации значений QoS при передаче данных в различных сетевых узлах.

Система качества обслуживания должна быть динамической, позволяющей изменять параметры QoS в течение активной сессии.

На рисунке 2.6., рассмотрим архитектуру системы качества обслуживания и передачу услуг в рамках такой системы, рассматривая, для определённости, случай, когда связь осуществляется между конечным оборудованием (ОО), подключённым к пользовательскому терминалу мобильной сети, и терминальным оборудованием, расположенным во внешней пакетной сети

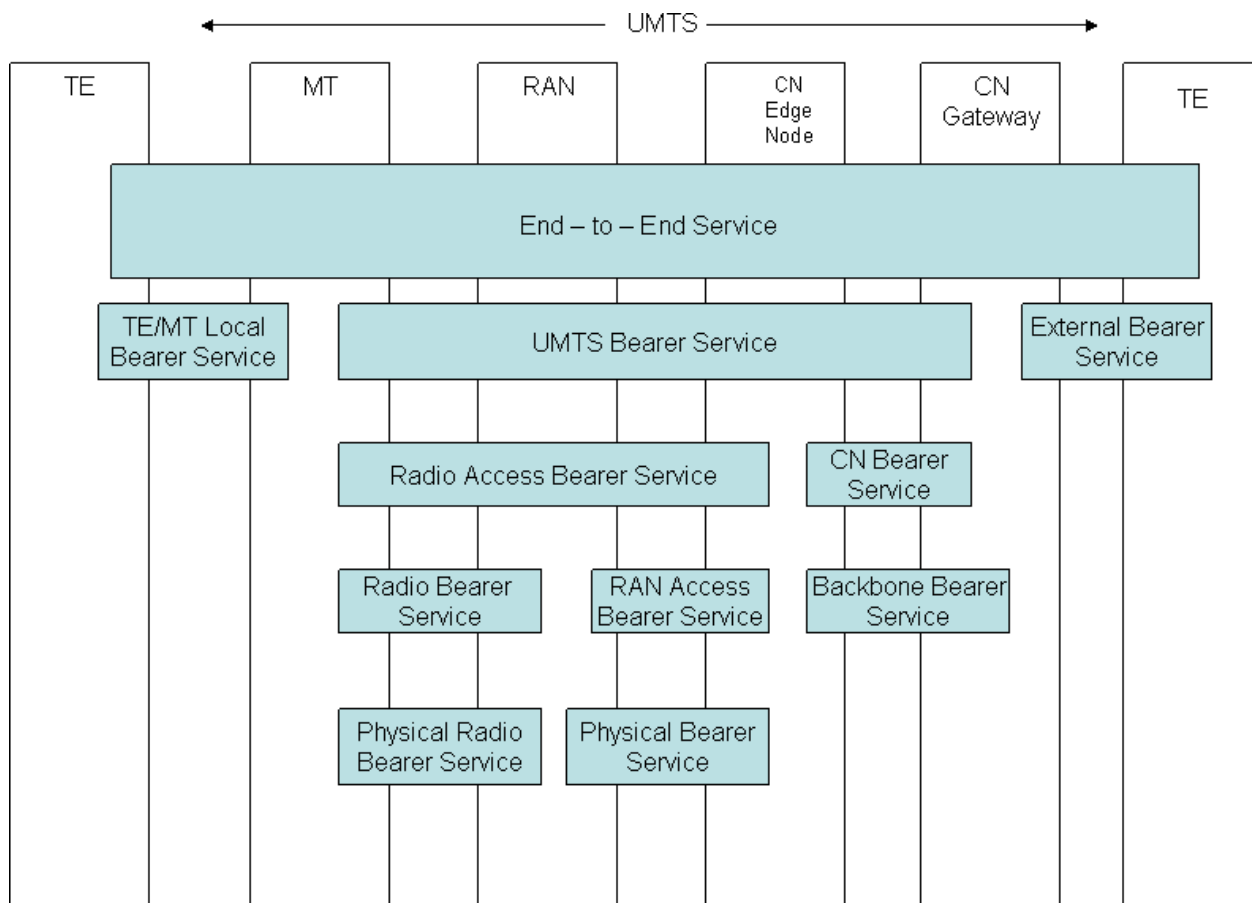


Рисунок 2.6 - Архитектура системы качества обслуживания

Аналогично понятию сквозного канала вводится понятие сквозной услуги (end-to-end service) как последовательность действий между двумя окончательными пользователями и, соответственно, частей услуг — по их отношению к определённым сетевым составляющим: в локальном канале "оконечное оборудование — пользовательский терминал" (Terminal Equipment / Mobile Terminal local Bearer Service), в канале сети LTE (LTE Bearer Service), во внешнем канале (External Bearer Service). Таким образом, возникает многоуровневое взаимодействие при передаче услуги в различных сетевых узлах и на различных уровнях.

Передача услуги по сети LTE рассматривается, в соответствии с сетевой архитектурой, отдельно в сети радиодоступа (Radio Access Bearer Service), где обеспечивается конфиденциальная передача пользовательских данных либо с заранее выбранным либо установленным по умолчанию уровнем качества обслуживания, и в базовой пакетной сети (Core Network Bearer Service), также могущей поддерживать различное качество обслуживания.

Услугу в сети радиодоступа реализуют двумя частями: в радиоканале (Radio Bearer Service) и в механизме радиодоступа (Access Bearer Service). Реализация услуги в радиоканале содержит все аспекты, касающиеся передачи данных по радиоинтерфейсу, включая сегментацию и повторную сборку пользовательских пакетов. Кроме того, на физическом уровне (Physical Radio

Bearer Service) производится управление подпоток пользовательских данных. Механизм радиодоступа обеспечивает на физическом уровне (Physical Bearer Service) передачу данных между сетью радиодоступа и базовой сетью. Наконец, прохождение услуги в "магистральном" канале (Backbone Network Bearer Service) рассматривается в функциональной совокупности Уровней 1 и 2 и назначенными требованиями качества обслуживания.

Перечислим и кратко опишем основные функции сети LTE, относящиеся к управлению качеством обслуживания. В пользовательской плоскости такие функции направлены на поддержку пользовательского трафика и сигнализации с определёнными ограничениями, установленными параметрами QoS.

- Функция отображения (MF, Mapping Function) обеспечивает наделение каждого предназначенного для передачи пакета данных соответствующими параметрами QoS;

- Функция классификации (CF, Classification Function) предназначена для выставления пакетам данных параметров QoS, предназначенных для определённого ПТ, в том случае, если для этого ПТ в сети установлено несколько каналов передачи услуг;

- Функция управления ресурсами (RMF, Resource Manager Function) распределяет доступные ресурсы между услугами в соответствии с параметрами QoS;

- Функция согласования (очистки) трафика (TCF, Traffic Conditioner Function) обеспечивает согласование между потоком пользовательских данных и установленным уровнем качества обслуживания. Те пакеты данных, которые не соответствуют выставленным параметрам QoS, будут отброшены или помечены как несоответствующие для последующего отбрасывания после накопления.

Функция классификации, реализованная в ПТ и СШ, назначает пакеты данных, полученным из внешнего (или локального) канала в услугу сети LTE с соответствующими параметрами QoS. Функция согласования трафика, при необходимости, обеспечивает согласование пользовательского потока в восходящем (в ПТ) и нисходящем (в СШ) направлениях с установленными параметрами QoS. Далее, функция отображения снабжает каждый пакет данных специальным QoS-индикатором, отправляя того в путь по сети, что требует выделения соответствующих ресурсов - за это ответственна функция управления ресурсами, реализованная в каждом сетевом узле.

В плоскости управления, как обычно, сосредоточены функции, необходимые для реализации механизмов управления и контроля.

Функция управления услугами (SMF, Service Manager Function) является координирующей функцией при установке, модифицировании и управлении услугами, а также управляющей для функций управления качеством обслуживания в пользовательской плоскости.

Трансляционная функция (TF, Translation Function) преобразует внутренние примитивы услуг сети LTE в модули различных протоколов

взаимодействующих внешних сетей, включая преобразования атрибутов услуг сети LTE в параметры QoS протоколов внешних сетей. Функция управления возможностями (A/CCF, Admission / Capability Control Function) обеспечивает информацией обо всех возможных ресурсах сетевых узлов, определяя при каждом запросе (или модифицировании) услуги, могут ли сетевые узлы обеспечить требуемые ресурсы. Данная функция также контролирует возможность предоставления самой услуги, т.е. реализована ли в сети запрашиваемая услуга.

Функция управления подпиской (SCF, Subscription Control Function) обеспечивает контроль доступности абонентов на пользование различными услугами с требуемыми параметрами QoS.

Трансляционная функция, действующая в ПТ и СШ, преобразует служебную информацию, связанную с внешней услугой, в примитивы внутренней услуги, включая и атрибуты услуги.

Функция управления услугой, локализованная в ПТ, СШ и базовой сети (т. е. соответствующий подфункции), с помощью трансляционной функции устанавливает или модифицирует услугу, используя при этом связанные с ней функцию управления возможностями, с целью выяснения наличия требуемых для данной услуги ресурсов, и функцию управления подпиской, для определения прав пользователя на эту услугу.

Концепция предоставления услуг предполагает наличие четырёх классов качества обслуживания, называемых также трафиковыми классами:

- голосовой (разговорный);
- потоковый;
- интерактивный;
- фоновый.

Главным различием между названными классами является чувствительность к задержкам: наиболее чувствительным является голосовой трафик, наименее чувствительным - фоновый трафик. Голосовой и потоковый классы предназначены для использования в реальном масштабе времени. Интерактивный и фоновый классы используются для традиционных интернет-приложений: интернет-навигация, электронная почта, удалённая связь и др. При этом трафик интерактивного класса имеет более высокий приоритет, чем трафик фонового класса. Кратко рассмотрим особенности услуг различных классов.

Наиболее часто используемым видом услуг голосового класса является телефонная речь, причём, если в стандартах первого и второго поколений, например, традиционных сетях GSM, передача речи осуществлялась посредством канальной коммутации, то, как уже говорилось выше, в современных системах сотовой связи речь передаётся пакетным способом (VoIP, Voice over IP), в том числе, как составляющая видеобщения. При этом трафик является симметричным (или почти симметричным). Особенности человеческого слуха и зрения при осуществлении сеанса связи в реальном времени предъявляют достаточно жёсткие требования к качеству речевого потока. Фундаментальными характеристиками QoS в данном случае являются

фиксированная, по возможности, минимальная временная задержка между отдельными речевыми пакетами в общем речевом потоке, а также жёстко фиксированная структура речевых пакетов. Субъективные оценки восприятия речи показывают, что сквозная задержка речи не должна превышать 400 мс - в противном случае разговор становится практически невозможен.

Основным речевым кодеком, используемым для передачи речи в сетях 3-го поколения является AMR (Adaptive Multi Rate) кодек; по-видимому, он же, либо его модификации, будет использоваться и в сетях LTE.

AMR кодек - это единый интегрированный речевой кодек с восемью исходными скоростями: 12,2 (GSM-EFR); 10,2; 7,40 (IS-641); 6,70 (PDS-EFR); 5,90; 5,15 и 4,75 Кбит/с. Скорости передачи управляются сетью радиодоступа и не зависят от речевой активности. Для облегчения совместимости с существующими сотовыми системами некоторые из режимов выбраны такими же, что и у существующих сотовых сетей. Речевой кодек AMR со скоростью передачи 12,2 Кбит/с соответствует кодеку EFR в GSM, со скоростью передачи 7,4 Кбит/с - кодеку US-TDMA, а со скоростью передачи 6,7 Кбит/с - кодеку PDS. Речевой кодер AMR может по команде переключать скорость передачи данных в каждом речевом кадре длительностью 20 мс, что соответствует 160 отсчетам при частоте дискретизации 8 кГц. Для переключения режима AMR выбраны два способа: управление по каналам сети или с использованием выделенного канала.

Схема режимов многоскоростного кодирования представляет собой так называемый алгебраический метод кодирования и линейного предсказания (ACELP, Algebraic Code Excited Linear Prediction). Многоскоростной кодек ACELP обозначается MR-ACELP. За каждые 20 мс речевой сигнал анализируется для извлечения параметров модели CELP (коэффициентов фильтра с линейным предсказанием, адаптивных и фиксированных составляющих вектора возбуждения и их коэффициентов). Биты с параметрами речи, переданные кодирующим устройством речи, перераспределяются в соответствии с их субъективной важностью перед тем, как они передаются по сети. Перераспределенные биты затем сортируются с учетом их восприимчивости к ошибкам и делятся на три класса по их важности: А, В и С. Класс А является наиболее уязвимым, и в радиоинтерфейсе используется самое мощное канальное кодирование для битов класса А.

Схожие требования по задержке информации имеет видеотелефонная связь, однако вследствие применения сжатия видеoinформации требования к относительному уровню ошибок здесь более строгие, чем для передачи речи. В сетях UMTS определено, что для видеотелефонной связи по соединительным линиям с коммутацией каналов должны использоваться Рекомендации ITU H324M. В настоящее время имеется два подходящих варианта для систем видеотелефонной связи с коммутацией каналов: ITU Rec. H.323 и IETF SIP.

Примерами услуг потокового класса, характеризующихся ярко выраженной однонаправленностью, является просмотр видео или

прослушивание звукового приложения в реальном времени. Для таких услуг также характерна фиксированная временная задержка между отдельными потоками звуковых или видеоданных, однако какие-либо требования на минимальную временную задержку отсутствуют. Поточковые технологии становятся все более важными с развитием интернета, так как большинство пользователей (пока) не имеют доступа с достаточно высокой скоростью для того, чтобы быстро перегружать большие мультимедийные файлы. При использовании потоковых услуг клиентские программы просмотра - браузеры или интегрированные программные модули могут начать отображение данных до того, как передан весь файл.

Для успешной реализации потоковой услуги принимающий ПТ (точнее, реализованное в нём программно-аппаратное обеспечение), должен обладать способностью собирать, обрабатывать и посылать данные в виде устойчивого потока согласно алгоритмам, реализованным в прикладных программах. Такие потоковые приложения, как уже было сказано, являются весьма асимметричными и, поэтому, способны выдерживать более длительную задержку, чем симметричные диалоговые системы. Это означает также, что они допускают большую переменную задержку - так называемый *джиттер*, кото- рый легко сглаживается с помощью буферизации.

Услуги интерактивного класса предназначены для восприятия как человеком, так и неодушевлёнными механизмами и связаны с получением данных от удалённого оборудования. Примерами таких услуг являются интернет-навигация, поиск в базе данных, услуги доступа, а также различные механизмы машинного взаимодействия. Интерактивный класс характеризуется наличием услуг типа "запрос - ответ", а также транспарентной (прозрачной) передачей содержимого пакетов данных. При этом ключевым параметром здесь является задержка, связанная с подтверждением приёма.

Примером интерактивной услуги является компьютерная игра в интерактивном режиме. Однако, в зависимости от характера игры, т. е. насколько активно ведется передача данных, может оказаться так, что такую игру можно отнести и к речевому классу, исходя из требований к максимальной сквозной задержке.

Наконец, услуги фоновых классов типичны при обеспечении связи между различными механизмами: электронная почта, приём отчётов об измерениях, автоматическое заполнение баз данных и т. п. Главной особенностью таких услуг является то, что в них, как правило, используются данные с практически неограниченным временем существования, т. е. в месте назначения не ожидают поступления данных в определенное время. Другая особенность состоит в том, что нет необходимости содержимое пакетов передавать прозрачным образом - они просто должны быть приняты без ошибок. Одним из примеров услуг фоновых классов, которые постепенно получают все большее и большее распространение, служат электронные почтовые открытки. Считается, что как только в терминалах появятся встроенные фотокамеры и большие цветные дисплеи, так сразу произойдет скачок в применении электронных почтовых открыток.

Итак, существуют сетевые услуги различных классов, которые необходимо дополнительно атрибутировать в системе качества обслуживания. Перечислим список параметров QoS, по которым осуществляется относительная градация пользователей.

Трафиковый класс (голосовой, потоковый, интерактивный, фоновый). Максимальная скорость передачи данных (в Кбит/с). Данный параметр определяет максимальное число бит, доставляемых сетью LTE (или в сеть LTE) за определённые интервалы времени.

Гарантированная скорость передачи данных (в Кбит/с) определяет гарантированное число бит, доставляемых сетью за определённые интервалы времени.

Порядок доставки (Да / Нет). Параметр, показывающий, обеспечивает ли сквозной канал последовательную доставку пакетов данных или нет. Фактически данный параметр показывает отличие протокола передачи данных от пользовательского PDP-протокола.

Максимальный размер (в байтах) пакетов данных, переносящих содержимое услуги (SDU, Service Data Unit). Данный параметр следует отличать от параметра MTU (Maximum Transfer Unit), используемого в IP-протоколе.

Информация (в битах) о формате пакетов данных, переносящих содержимое услуги, необходимая в сети радиодоступа в целях обеспечения функционирования RLC-протокола в прозрачном режиме.

Относительный уровень ошибочно переданных пакетов данных, переносящих содержимое услуги. Параметр используется для выбора надлежащей схемы (модуляции / кодирования) передачи данных по сети радиодоступа.

Остаточный коэффициент ошибок, отражающий число ошибочно переданных бит в доставленных пакетах данных, переносящих содержимое услуги. Также используется для выбора надлежащей схемы (модуляции / кодирования) передачи данных по сети радиодоступа.

Возможность доставки искажённых пакетов данных, переносящих содержимое услуги (Да / Нет). Параметр используется при принятии решений о пересылке искажённых пакетов данных.

Задержка передачи (в мс) определяет допустимое отклонение значения задержки в сети радиодоступа от общего времени задержки в сквозном канале среди 95% значений задержек доставленных пакетов данных в течение времени существования всей услуги.

Приоритет в управлении трафиком отражает относительную важность рассматриваемого потока данных по сравнению с другими потоками. Параметр применяется к услугам интерактивного класса, позволяя вести диспетчеризацию трафика.

Назначение / снятие приоритета. Используется для выявления приоритетных различий между каналами передачи услуг, когда выполняются операции по назначению и снятию каналов в условиях ограниченности ресурсов. Статистический дескриптор источника (речевой / неизвестный).

Разговорная речь имеет хорошо известные статистические параметры. Поэтому, в целях информирования о том, что пакеты данных имеют речевую природу, этот факт может быть экспериментально (на основе подсчёта) обнаружен в различных точках.

Индикатор служебной информации (Да / Нет), определённые только для услуг интерактивного класса, показывает природу информации (служебная или пользовательская) в принятых пакетах. Если индикатор установлен в значение 'Да', то ПТ должен установить в '1' приоритет управления трафиком. Данный параметр является дополнительным в системе качества обслуживания.

Выделенное назначение / снятие приоритета - "усиленный" параметр назначения / снятия приоритета, содержащий увеличенный диапазон уровней приоритета, а также дополнительную информацию о возможности преимущественного занятия канала и преимущественной степени защищённости.

Отметим, что некоторые параметры QoS взаимно противоречивы, например, задержка и уровень ошибок в принятых пакетах, т. е., собственно, надёжность. Так, при передаче голосового трафика сквозная задержка не должна превышать 150 мс при допустимой потере информационных пакетов не более 3%. Если рассматривать потоковый трафик, то в этом случае допустимы потери информационных пакетов не более 1%, а для интерактивного трафика потери информационных пакетов вообще недопустимы - его услуги (как и услуги фоновое трафика) передаются в режиме с подтверждением, и необходимость повторной передачи принятых с ошибками пакетов не позволяет измерить величину задержки.

В качестве иллюстрации укажем типичные значения параметров передачи данных, когда обеспечивается медиауслуга (звук + видео) в потоковом классе при использовании AMR (Adaptive Multi Rate) речевого кодека и MPEG-4 видеокодека, что является типичным для сетей мобильной связи 3-го и 4-го поколений.

AMR кодек:

- скорость передачи данных 4,75... 12,2 Кбит/с;
- длительность кодированных речевых кадров 20 мс;
- задержка не превосходит 100 мс;
- относительный уровень битовых ошибок 10 .. 10 .
- относительный уровень кадровых ошибок 10 ; MPEG-4 видеокодек:
- скорость передачи данных 24,0.128,0 Кбит/с;
- задержка 150.400 мс общая (между оконечными узлами), из них собственно задержка видеокодека около 200 мс.

2.6 Передача пользовательских данных в восходящем направлении.

В восходящем направлении пользовательские данные передаются по физическому совместному каналу PUSCH. Передача сигнала канала PUSCH осуществляется кадрами, каждый из которых во временной области имеет длительность 10 мс. Распределение частотно-временных ресурсов между абонентами осуществляется ресурсными блоками, каждый из которых, как уже упоминалось выше, в частотной области занимает диапазон 180 кГц, а во временной области имеет длительность 1 мс, эквивалентную одному подкадру радиосигнала. Выделяемый абоненту ресурс должен быть непрерывен в частотной области; в любой фиксированный момент времени абонент может передавать только один SC-FDMA-символ. На рисунке 2.7 указано распределение частотно-временных ресурсов, которое осуществляется на базовой станции устройством частотно-временного планирования (scheduler).

Таким образом, передача данных ПТ невозможна без предварительного запроса на выделение ресурсов. Предварительные запросы осуществляются по физическому каналу случайного доступа PRACH, о котором будет сказано позже.

Максимальное значение скорости передачи данных в восходящем направлении зависит от нескольких параметров. К ним относятся схема манипуляции (КАМ-4, КАМ-16, КАМ-64), количество выделенных в частотной области ресурсных блоков, количество служебной информации, которую необходимо передать вместе с пользовательскими данными, а также схема помехоустойчивого кодирования. Так, максимальная скорость передачи данных может принимать значения в диапазоне от 700 Кбит/с до 86 Мбит/с.

Перед размещением по ЧВР канала PUSCH пользовательские данные проходят следующие процедуры.

Расчет CRC. Контрольная сумма рассчитывается для каждого транспортного блока и добавляется к нему с использованием одного из полиномов.

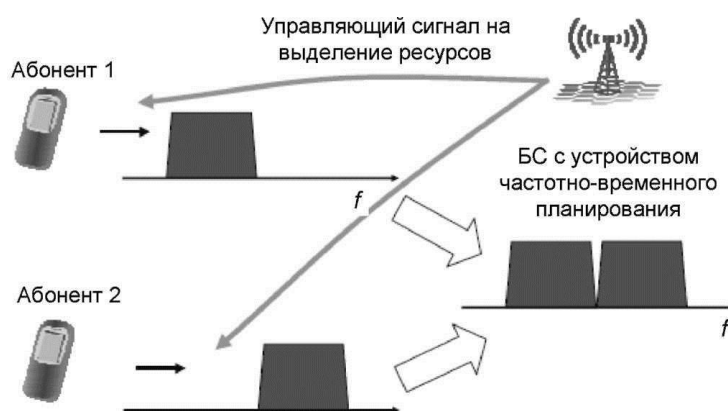


Рисунок 2.7 - Распределение частотно-временных ресурсов

Сегментация по кодовым блокам. Эта процедура имеет место, если размер транспортного блока превышает максимально допустимый размер

кодированного блока. Тогда транспортный блок разбивается на кодовые блоки, и к каждому кодовому блоку добавляется поле контрольной суммы длиной 24 бита. Максимальный размер кодового блока составляет 6144 бита. Если размер транспортного блока меньше или равен максимальному размеру кодового блока, то данная процедура не выполняется.

Помехоустойчивое кодирование. В восходящем и нисходящем совместных каналах (UL-PUSCH, DL-PDSCH) используется турбокодирование со скоростью 1/3.

Выравнивание скоростей передачи данных. Суть этой процедуры заключается в том, чтобы исключить или повторить некоторые биты кодового блока, полученного на предыдущем шаге, и, таким образом, согласовать скорость передачи данных, требуемую транспортным каналом, и скорость передачи данных, которую может обеспечить физический канал. Как будет показано ниже, в результате канального кодирования образуется три потока данных $d_k^{(0)}$, $d_k^{(1)}$, $d_k^{(2)}$. На рисунке 2.8 битовые потоки вначале поступают на блочные перемножители, после этого объединяются в блоке битового накопителя, после чего проводится процедура повторения или прореживания.

Процедуры выравнивания скоростей различны для каналов, использующих сверточное помехоустойчивое кодирование и турбокодирование.

Конкатенация кодовых блоков. Данная процедура заключается в последовательном объединении кодовых блоков, прошедших процедуры выравнивания скоростей передачи данных и формирование единого потока данных.

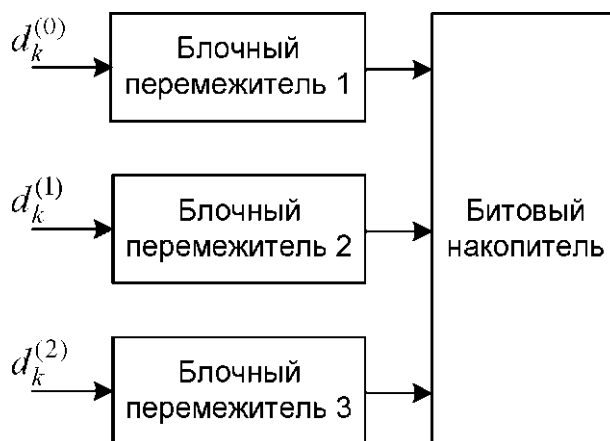


Рисунок 2.8 - Структурная схема процедуры выравнивания

Служебные данные, в отличие от пользовательских, проходят только процедуру канального кодирования. После этого осуществляется мультиплексирование пользовательских и служебных данных, перемежение, модуляция и размещение их по ЧВР канала PUSCH

2.7 Передача пользовательских данных в нисходящем направлении.

В нисходящем направлении пользовательские данные передаются в нисходящем физическом групповом канале PDSCH. БС производит оценку качества канала между пользователем и БС на основе индикаторов CQI, передаваемых пользовательскими терминалами, и в соответствии с результатом выделяет пользователям те или иные ресурсные блоки. Понятно, что если пользователю необходимо передавать данные на более высокой скорости, то ему должно быть выделено большее количество ресурсных блоков. Также, как и в случае восходящего канала, положение и параметры выделяемых пользователю ресурсов могут изменяться с течением времени. Перераспределение ЧВР между пользователями указано на рисунке 2.9.

Служебные сообщения о том, какие ресурсные блоки назначаются данному пользователю, передаются в физическом нисходящем управляющем канале PDCCH. Данные канала PDSCH могут занимать от трех до шести OFDMA-символов в слоте в зависимости от конфигурации канала PDSCH и от используемого циклического префикса (нормальный или расширенный). В каждом подкадре данные канала PDCCH могут содержаться только в первом слоте подкадра, в то время как второй слот подкадра содержит только данные PDSCH. В первом слоте подкадра каналу PDCCH выделено 3 OFDMA-символа, но в общем случае данные этого канала могут занимать от одного до трех OFDMA-символов. В режиме работы, при котором системе выделен диапазон частот шириной 1,4 МГц, в первом слоте подкадра радиосигнала каналу PDCCH может выделяться от двух до четырех OFDMA-символов.

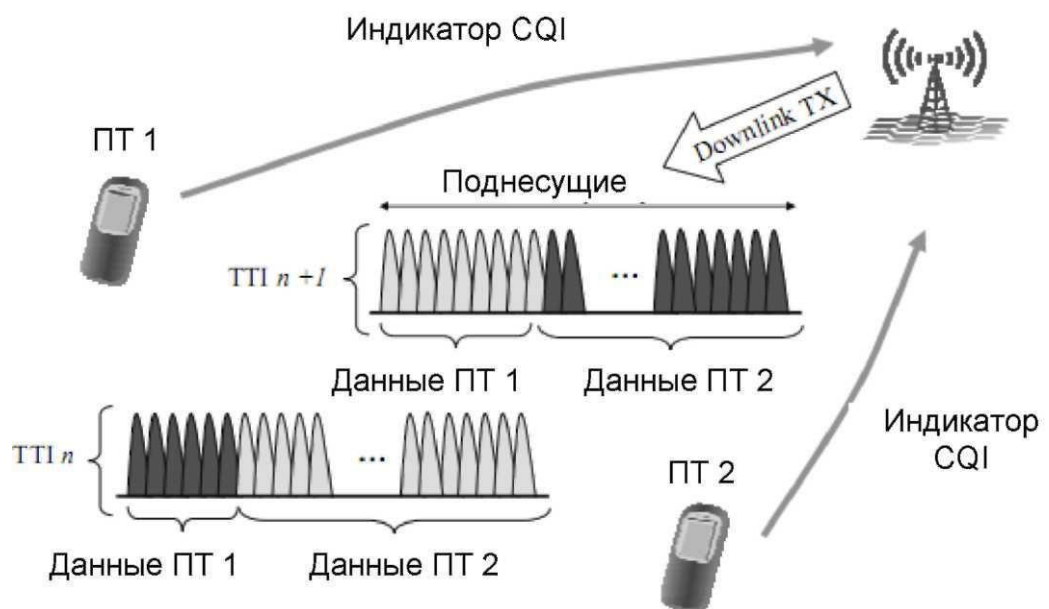


Рисунок 2.9 - Перераспределение ЧВР между пользователями

Вместе с данными каналов PDCCH и PDSCH в сигнале нисходящего канала необходимо размещение пилотных сигналов и данных

широковещательного канала PBCN. Для более эффективной оценки передаточной характеристики канала символы пилотной последовательности распределяются равномерно по ЧВР подкадра, как по частотному диапазону, так и во времени (по OFDMA-символам).

В качестве схемы помехоустойчивого кодирования пользовательских данных используется турбокодирование со скоростью $1/3$, которая подробно рассматривалась для случая восходящих каналов. Максимальный размер блока данных, который может подаваться на кодер турбокода, составляет 6144 бита. Структурная схема процедуры кодирования пользовательских данных представлена на рис. 2.10. Обратим внимание, что в отличие от схемы кодирования пользовательских данных для восходящего канала PDSCH в данной схеме отсутствует процедура их мультиплексирования со служебными данными, так как служебные данные занимают другие OFDMA-символы.

Как показано на рисунке 2.10 все процедуры, следующие после конкатенации кодовых блоков, могут выполняться параллельно для нескольких кодовых блоков (двух или четырех). Это необходимо для многоантенных систем (Multiple In Multiple Out, MIMO), построенных по принципу пространственного уплотнения. Принципы построения систем MIMO будут описаны ниже.

Суть процедуры размещения по уровням заключается в формировании *и* параллельных потоков комплексных символов, каждый из которых будет использоваться при формировании сигнала на отдельной антенне, причем количество антенн может быть меньше либо равно количеству уровней.

Режим работы с большим числом передающих антенн может строиться по двум принципам: пространственное уплотнение (Spatial Multiplexing, SM) и пространственно-временное кодирование (Transmit Diversity, TD).

Предположим, что многоантенная система, построенная по принципу пространственного уплотнения, имеет P антенн, причем количество антенн может быть меньше либо равно количеству сформированных уровней. Суть принципа пространственного уплотнения заключается в том, что различные блоки информационных символов или символы одного блока будут передаваться разными антеннами.

В многоантенных системах, построенных по принципу TD, число антенн всегда эквивалентно числу уровней, и все антенны передают части одного и того же блока информационных символов, т. е. в данном случае скорость передачи данных между ПТ и БС не изменяется.



Рисунок 2.10 - Структурная схема кодирования данных канала PDSCH

Для многоантенных систем, построенных по принципу пространственного уплотнения, предусмотрено два способа предварительного кодирования: кодирование без циклической задержки и кодирование с циклической задержкой.

2.8 Приём и обработка сигналов сетей LTE.

Данный раздел посвящен рассмотрению алгоритмов первичной обработки сигналов сетей LTE, которую производят АТ при поиске сигнала сети.

При изготовлении АТ в его память закладываются значения частот, которые в соответствии со спецификациями могут быть выбраны центральными частотами для сигналов сетей LTE. С целью ускорения процедуры поиска сигнала домашней сети в SIM-карте (выдаваемой оператором связи) помимо идентификаторов сети MCC (Mobile Country Code) и MNC (Mobile Network Code) может быть предусмотрена установка значений частот, выделенных домашней сети. Тем не менее, в случае выхода с территории обслуживания домашней сети ПТ будет вынужден производить перебор всех возможных частот для поиска сигнала дружественной сети (имеющей договор роумингового обслуживания с домашней сетью). Таким образом, актуальным является вопрос разработки по возможности простого и

эффективного алгоритма поиска сигнала БС сети LTE и получения данных об операторе.

Учитывая, что обработка OFDM-сигналов ведется в частотной области, на трудоемкость алгоритма обработки, в том числе, влияет размер блока преобразования Фурье (РБПФ). Рассчитаем РБПФ для сигналов LTE. Учитывая, что частота дискретизации равна

$$F_d = 1/T_s = 30,72 \text{ МГц},$$

а разнос между поднесущими

$$A = 15 \text{ кГц},$$

получим размер блока преобразования Фурье

$$N_{FT} = F_d / A = 2048.$$

Обратим теперь внимание на то, сколько фактически может быть использовано поднесущих, и какую полосу частот они будут занимать.

Таблица 2.1 - Частотные ресурсы сигналов LTE

Кол-во ресурсных блоков	6	15	25	50	75	100
Кол-во поднесущих	72	180	300	600	900	1200
Занимаемая полоса частот, МГц	1,08	2,7	4,5	9,0	13,5	18,0

Из представленных данных в таблице 2.1, частота дискретизации $F_d = 30,72 \text{ МГц}$ является избыточной для всех случаев выбора числа ресурсных блоков. Таким образом, имеется возможность уменьшения частоты дискретизации и, следовательно, РБПФ. При этом необходимо лишь заботиться о том, чтобы получаемый РБПФ превосходил число используемых поднесущих.

Учитывая, что в ПТ обязательно должна быть предусмотрена возможность работы АЦП с частотой дискретизации $30,72 \text{ МГц}$, понятно, что наиболее простым способом снижения частоты дискретизации является равномерное прореживание с определённым коэффициентом КП. Например, выбирая с выхода АЦП лишь каждый третий отсчет, т. е. используя $\text{КП} = 3$, получим трехкратное снижение частоты дискретизации. Отметим, что важным условием прореживания является предварительная фильтрация последовательности на исходной частоте дискретизации $F_d = 30,72 \text{ МГц}$. С одной стороны, фильтрация необходима для устранения возможных помех, а с другой - даже шумовые высокочастотные (относительно полосы фильтра) составляющие, не будучи отфильтрованными, приведут к сильному искажению спектра прореженного сигнала.

Итак, прореживая последовательность отсчетов с выхода АЦП, можно снизить частоту дискретизации и, следовательно, РБПФ. Теперь обратим внимание на то, что, во-первых, алгоритм быстрого преобразования Фурье рассчитан на РБПФ, равный целой степени двойки, во-вторых, длительности OFDM-символа и ЦП после снижения частоты дискретизации должны быть кратны временным интервалам между отсчетами прореженного сигнала.

Нетрудно видеть, что указанные ограничения приводят к отказу от прореживания в число раз, не равное целой степени двойки.

Учитывая, что определенные в LTE для синхронизации первичный и вторичный синхросигналы, а также сигналы физического вещательного канала передаются в шести центральных ресурсных блоках, т. е. на 72-х поднесущих, процедуру синхронизации независимо от числа используемых ресурсных блоков рационально проводить на прореженной в 16 раз последовательности отсчетов с выхода АЦП.

Алгоритм поиска сигнала БС и считывания основных параметров может быть разделен на следующие основные этапы:

- Грубая временная синхронизация с началом слота и оценка дробной частотной отстройкой по корреляционной кривой циклического префикса.

- Временная синхронизация с началом 0-го либо 10-го слота, определение второй составляющей идентификатора соты и целой частотной отстройкой по корреляционной кривой первичного синхросигнала.

- Временная синхронизация с началом кадра, определение первой составляющей идентификатора соты по корреляционной кривой вторичного синхросигнала.

- Выравнивание частотной характеристики (эквалайзинг) в слотах, передающих физический широкополосный канал.

Считывание данных логического широкополосного канала, передаваемых в физическом широкополосном канале.

Как и в большинстве других систем, использующих OFDM, в сетях LTE первичную грубую временную синхронизацию представляется целесообразным проводить по корреляционной кривой ЦП. Учитывая неодинаковость длительности ЦП для разных OFDM-символов в слоте, построим периодическую корреляционную кривую ЦП первого (т. е. с номером ноль) OFDM-символа в слоте. Напомним, что его длительность для $F_d = 1,92$ МГц составляет 10 отсчетов против 9 для ЦП остальных OFDM-символов в слоте. Понятно, что такая корреляционная кривая должна содержать 7 пиков по числу OFDM-символов в слоте. При этом, если амплитуда максимального из них равна MAX, то, во-первых, при построении нормированной корреляционной кривой и достаточном отношении сигнал/шум $MAX \sim 1$, а во-вторых, амплитуды остальных пиков должны быть $\sim 0,9 MAX$.

Теперь, имея в распоряжении грубую временную и точную частотную синхронизации, можно переходить к следующему этапу - считыванию данных, передаваемых в физическом вещательном канале РВСН, сигнал которого передается в первых четырех OFDM-символах второго по порядку

слота каждого кадра. Один блок данных передается в четырех кадрах, при этом вся информация передается в каждом кадре. Для демодуляции необходимо выполнить выравнивание АЧХ канала. Учитывая значительную помехозащищенность данных канала РВСН, на этом этапе можно воспользоваться простейшим линейным эквалайзером, и в случае большого отношения сигнал/шум в принятом сигнале декодирование блока данных можно произвести лишь по одному кадру.

После считывания вещательного сообщения становится известным количество ресурсных блоков, выделенных системе, количество антенн, используемых для передачи нисходящего сигнала (1, 2 или 4), номер кадра системы и информация о конфигурации канала подтверждения успешного приема базовой станцией пакетов, переданных абонентом в восходящем направлении.

3 Расчетная часть

3.1 Расчет пропускной способности сети. Расчет количества потенциальных абонентов

Пропускную способность, или емкость, сети оценивают, базируясь на средних значениях спектральной эффективности соты в определенных условиях. Спектральная эффективность систем мобильной связи представляет собой показатель, вычисляемый как отношение скорости передачи данных на 1 Гц используемой полосы частот (бит/с/Гц). Спектральная эффективность является показателем эффективности использования частотного ресурса, а также характеризует скорость передачи информации в заданной полосе частот.

Спектральная эффективность может рассчитываться как отношение скорости передачи данных всех абонентов сети в определенной географической области (соте, зоне) на 1 Гц полосы частот (бит/с/Гц/сота), а также как отношение максимальной пропускной способности сети к ширине полосы одного частотного канала.

Средняя спектральная эффективность для сети LTE, ширина полосы частот которой равна 20 МГц, для частотного типа дуплекса FDD на основании 3GPP Release 9 для разных конфигураций MIMO, представлена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Средняя спектральная эффективность для сети LTE

Линия(бит/с/Гц)	Схема MIMO	Средняя спектральная эффективность
UL	1×2	1,254
	1×4	1,829
DL	2×2	2,93
	4×2	3,43
	4×4	4,48

Для системы FDD средняя пропускная способность 1 сектора E_{lb} может быть получена путем прямого умножения ширины канала на спектральную эффективность канала:

$$R=S \cdot W, \quad (3.1)$$

где S – средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц);

W – ширина канала (МГц);

$W = 10$ МГц.

Для линии DL:

$$R_{DL} = 3,43 \cdot 10 = 34,3 \text{ Мбит/с.}$$

Для линии UL:

$$R_{UL} = 1,829 \cdot 10 = 18,29 \text{ Мбит/с.}$$

Средняя пропускная способность базовой станции R_{eNB} вычисляется путем умножения пропускной способности одного сектора на количество секторов базовой станции; число секторов eNB примем равное 3, тогда:

$$R_{eNB} = R_{DL} / UL \cdot 3, \quad (3.2)$$

Для линии DL:

$$R_{eNB.DL} = 34,3 \cdot 3 = 102,9 \text{ Мбит/с.}$$

Для линии UL:

$$R_{eNB.UL} = 18,29 \cdot 3 = 54,87 \text{ Мбит/с.}$$

Следующим этапом будет определение количества сот в планируемой сети LTE. Для расчета числа сот в сети необходимо определить общее число каналов, выделяемых для развертывания проектируемой сети LTE. Общее число каналов N_k рассчитывается по формуле:

$$N_k = \Delta f \sum \Delta f_k, \quad (3.3)$$

где $\Delta f \sum$ - полоса частот, выделенная для работы сети и равная 71 МГц;
 Δf_k – полоса частот одного радиоканала; под радиоканалом в сетях LTE определяется такое понятие как ресурсный блок РБ, который имеет ширину 180 кГц, $\Delta f_k = 180 \text{ кГц}$.

$$N_k = 71 \sum 180 \approx 395 \text{ (каналов).}$$

Далее определим число каналов $N_{k.сек}$, которое необходимо использовать для обслуживания абонентов в одном секторе одной соты:

$$N_{k.сек} = N_k / N_{кл} / M_{сек}, \quad (3.4)$$

где N_k – общее число каналов

$N_{кл}$ – размерность кластера, выбираемое с учетом количества секторов eNB , примем равным 3;

$M_{сек}$ – количество секторов eNB , принятое 3.

$$N_{k.сек} = 395 / 3 / 3 \approx 43 \text{ (канала).}$$

Далее определим число каналов трафика в одном секторе одной соты $N_{кт.сек}$. Число каналов трафика рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{кт.сек}} = N_{\text{кт1}} \cdot N_{\text{к.сек}}, \quad (3.5)$$

где $N_{\text{кт1}}$ – число каналов трафика в одном радиоканале, определяемое стандартом радиодоступа (для OFDMA $N_{\text{кт1}} = 1...3$); для сети LTE выберем $N_{\text{кт1}} = 1$.

$$N_{\text{кт.сек}} = 1 \cdot 43 \approx 43 \text{ канала}$$

В соответствии с моделью Эрланга, определим допустимую нагрузку в секторе одной соты $A_{\text{сек}}$ при допустимом значении вероятности блокировки равной 1% и рассчитанным выше значением $N_{\text{кт.сек}}$. Определим, что $A_{\text{сек}} = 50$ Эрл.

Число абонентов, которое будет обслуживаться одной eNB, определяется по формуле:

$$N_{\text{аб.еNB}} = M_{\text{сек}} \cdot A_{\text{сек}} A_1, \quad (3.6)$$

где A_1 – средняя по всем видам трафика абонентская нагрузка от одного абонента; значение A_1 может составлять (0,04...0,2) Эрл. Так как проектируемая сеть планируется использоваться для высокоскоростного обмена информацией, то значение A_1 примем равным 0,2 Эрл. Таким образом:

$$N_{\text{аб.еNB}} = 3 \cdot 249,6 \approx 750 \text{ абонентов.}$$

Число базовых станций eNB в проектируемой сети LTE найдем по формуле:

$$N_{\text{еNB}} = N_{\text{аб}} / N_{\text{аб.еNB}} + 1, \quad (3.7)$$

где $N_{\text{аб}}$ – количество потенциальных абонентов. Количество потенциальных абонентов определим как 20% от общего числа жителей. Общее число жителей района «Есиль» г.Астана составляет 24500 человек. Таким образом, количество потенциальных абонентов составит 4900 человек, тогда:

$$N_{\text{еNB}} = 4900 / 750 + 1 \approx 7 \text{ eNB.}$$

Среднюю планируемую пропускную способность RN проектируемой сети определим путем умножения количества eNB на среднюю пропускную способность eNB. Формула примет вид:

$$RN = R_{\text{еNB.DL}} + R_{\text{еNB.UL}} \cdot N_{\text{еNB}}, \quad (3.8)$$

$$RN = (102,9 + 54,87) \cdot 7 \approx 1104,39 \text{ (Мбит/с)}.$$

Далее дадим проверочную оценку емкости исследуемой сети и сравним с рассчитанной. Определим усредненный трафик одного абонента в ЧНН:

$$R_{т.ЧНН} = T_{т} \cdot q / N_{ЧНН} / N_{д}, \quad (3.9)$$

где $T_{т}$ - средний трафик одного абонента в месяц, $T_{т} = 30$ Гбайт/мес; q – коэффициент местности, $q = 2$;
 $N_{ЧНН}$ – число ЧНН в день, $N_{ЧНН} = 7$;
 $N_{д}$ - число дней в месяце, $N_{д} = 30$.

$$R_{т.ЧНН} = 30 \cdot 2 / 7 / 30 = 0,28 \text{ (Мбит/с)}.$$

Определим общий трафик проектируемой сети в ЧНН $R_{общ./ЧНН}$ по формуле:

$$R_{общ./ЧНН} = R_{т.ЧНН} \cdot N_{акт.аб}, \quad (3.10)$$

где $N_{акт.аб}$ – число активных абонентов в сети; определим число активных абонентов в сети как 80% от общего числа потенциальных абонентов $N_{аб}$, то есть $N_{акт.аб} = 3920$ абонентов.

$$R_{общ./ЧНН} = 0,28 \cdot 3920 = 1097,6 \text{ (Мбит/с)}.$$

Таким образом, $RN > R_{общ./ЧНН}$. Это условие показывает, что исследуемая сеть не будет подвергаться перегрузкам в ЧНН.

3.2 Анализ покрытия.

Анализ покрытия сети начнем с вычисления максимально допустимых потерь на линии (МДП). МДП рассчитывается как разность между эквивалентной изотропной излучаемой мощностью передатчика (ЭИИМ) и минимально необходимой мощностью сигнала на входе приемника сопряженной стороны, при которой с учетом всех потерь в канале связи обеспечивается нормальная демодуляция сигнала в приемнике. Принцип расчета МДП показан на рисунке 3.1.

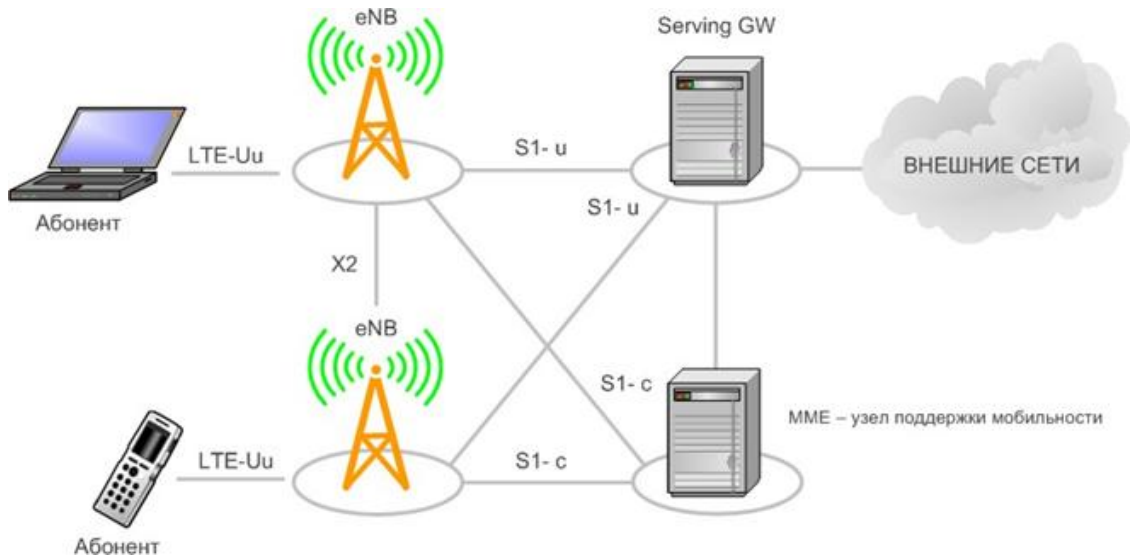


Рисунок 3.1 - Принцип расчета МДП

При расчетах будем использовать следующие параметры:

- системная полоса: 20 МГц; для FDD = 10/10 (DL/UL);
- eNB – на каждом секторе один TRX, выходная мощность TRX = 40 Вт (46 дБм); работает на линии DL в режиме MIMO 2×2;
- UE – абонентский терминал – USB-модем,
- класс 4 – ЭИИМ 33 дБм;
- соотношение длительности кадров DL/UL: 100%/100%.

Расчет максимально допустимых потерь производится по формуле:

$$L_{\text{МДП}} = P_{\text{эиим.нрд}} - S_{\text{ч.нр}} + G_{\text{А.нрд}} - L_{\text{Ф.нрд}} - M_{\text{прон}} - M_{\text{ном}} - M_{\text{затен}} + G_{\text{хо}}, \quad (3.11)$$

где $P_{\text{эиим.нрд}}$ – эквивалентная излучаемая мощность передатчика;

$S_{\text{ч.нр}}$ – чувствительность приемника;

$G_{\text{А.нрд}}$ – коэффициент усиления антенны передатчика,

$G_{\text{А.нрд}}$: DL = 18 дБи, UL = 0 дБи;

$L_{\text{Ф.нрд}}$ – потери в фидерном тракте передатчика,

$L_{\text{Ф.нрд}}$: DL = 0,3 дБ;

$M_{\text{прон}}$ – запас на проникновение сигнала в помещение для сельской местности, $M_{\text{прон}} = 12$ дБ;

$M_{\text{ном}}$ – запас на помехи. $M_{\text{ном}}$ определяется по результатам моделирования системного уровня в зависимости от нагрузки в соседних сотах; значение $M_{\text{ном}}$ соответствует нагрузке в соседних сотах 70%.

$M_{\text{ном}}$: DL = 6,4 дБ; UL = 2,8 дБ;

$G_{\text{хо}}$ – выигрыш от хэндовера. Значение выигрыша от хэндовера – результат того, что при возникновении глубоких замираний в обслуживаемой соте, абонентский терминал может осуществить хэндовер в соту с лучшими характеристиками приема.

$G_{\text{хо}} = 1,7$ дБ.

$P_{\text{эиим.нрд}}$ рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{эим.прд}} = P_{\text{вых.прд}} + G_{A.\text{прд}} - L_{\Phi.\text{прд}} \quad (3.12)$$

где $P_{\text{вых.прд}}$ – выходная мощность передатчика.

$P_{\text{вых.прд}}$ в линии «вниз» (DL) в LTE зависит от ширины полосы частот сайта, которая может колебаться от 1,4 до 20 МГц. В пределах до 5 МГц рационально выбрать передатчики TRX мощностью 20 Вт (43 дБм), а свыше 5 МГц – 40 Вт (46 дБм), $P_{\text{вых.прд}}$: DL = 46 дБм, UL = 33 дБм.

Для линии DL:

$$P_{\text{эим.прд}} = 46 + 18 - 0,3 = 63,7 \text{ (дБм)},$$

Для линии UL:

$$P_{\text{эим.прд}} = 33 \text{ (дБм)}.$$

$S_{\text{ч.пр}}$ рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{ч.пр}} = P_{\text{ти.пр}} + M_{\text{оси.пр}} + L_{\text{пр}}, \quad (3.13)$$

где $P_{\text{ти.пр}}$ – мощность теплового шума приемника

$P_{\text{ти.пр}}$: DL = -174,4 дБм, UL = -104,4 дБм;

$M_{\text{оси.пр}}$ – требуемое отношение сигнал/шум приемника.

Значение $M_{\text{оси.пр}}$ взято для модели канала «EnhancedPedestrianA5».

$M_{\text{оси.пр}}$: DL = -0,24 дБ; UL = 0,61 дБ;

$L_{\text{пр}}$ – коэффициент шума приемника,

$L_{\text{пр}}$: DL = 7 дБ, UL = 2,5 дБ;

Для линии DL:

$$S_{\text{ч.пр}} = -174,4 + (-0,24) + 7 = -167,64 \text{ (дБм)},$$

Для линии UL:

$$S_{\text{ч.пр}} = -104,4 + 0,61 + 2,5 = -101,29 \text{ (дБм)}.$$

С учетом полученных результатов по формулам (3.12) и (3.13), рассчитаем значение МДП:

Для линии DL:

$$L_{\text{МДП}} = 63,7 - (-167,64) - 12 - 6,4 - 8,7 - 1,7 = 205,94 \text{ (дБ)},$$

Для линии UL:

$$L_{\text{МДП}} = 33 - (-101,29) + 18 - 0,4 - 12 - 6,4 - 8,7 + 1,7 = 126,5 \text{ (дБ)}.$$

Из двух значений МДП, полученных для линий DL и UL выбираем минимальное, чтобы вести последующие расчеты дальности связи и радиуса соты. Ограничивающей линией по дальности связи, как правило, является линия вверх.

Для расчета дальности связи воспользуемся эмпирической моделью распространения радиоволн Okumura – Hata. Данная модель является обобщением опытных фактов, в котором учтено много условий и видов сред. В модели Okumura – Hata предлагается следующее выражение для определения среднего затухания радиосигнала в городских условиях:

$$L_r = 69,5 + 26,16 \lg f_c - 13,82 \lg h_t - A(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg h_t) \lg d \quad (3.14)$$

Для исследуемой местности выражение примет вид с поправкой:

$$L_c = L_r - 4,78(\lg f_c)^2 + 17,33 \cdot \lg f_c - 40,94, \quad (3.15)$$

где f_c – частота от 150 до 1500 МГц;

h_t – высота передающей антенны (подвеса eNB) от 30 до 300 метров;

h_r – высота принимающей антенны (антенны мобильного устройства) от 1 до 10 метров;

d – радиус соты от 1 до 20 км;

$A(h_r)$ – поправочный коэффициент для высоты антенны подвижного объекта, зависящий от типа местности.

Произведем выбор параметров для расчетов:

$f_c = 800$ МГц;

$h_t = 72$ метра;

$h_r = 3$ метра.

Найдем поправочный коэффициент $A(h_r)$ для сельской местности по формуле:

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \lg f_c - 0,7) \cdot h_r - (1,56 \cdot \lg f_c - 0,8), \quad (3.16)$$

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \lg 800 - 0,7) \cdot 3 - (1,56 \cdot \lg 800 - 0,8) = 3,751$$

Вычислив из формул (3.14) и (3.15) радиус соты, получим, что $d \approx 9$ км.

1.3 Расчет чувствительности приемника БС.

Минимально допустимый уровень сигнала на входе приемника БС определяется как:

$$P_{np}(\text{дБмВт}) = P_{ui}(\text{дБмВт}) + (E_b/N_0)_{\text{треб}}(\text{дБ}) - G_{обр}(\text{дБ}), \quad (3.20)$$

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

$G_{\text{обр}}$ – выигрыш от обработки.

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

Основные параметры использующиеся в расчете:

E_b/N_0 – отношение средней энергии бита к спектральной плотности шума. Требуемое отношение E_b/N_0 зависит от типа сервиса, скорости передвижения абонента и радиоканала.

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

Мощность собственных шумов приемника

$$P_{\text{ш}} = N + K_{\text{ш}} \text{ (дБмВт)}, \quad (3.21)$$

где N - мощность теплового шума в приемнике, 2,5 дБмВт

$$N = k \cdot T \cdot B, \quad (3.22)$$

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

T – температура проводника.

Мощность теплового шума в приемнике зависит от полосы пропускания фильтра. Для стандарта UMTS полосу согласованного фильтра можно принять равной 3.84 МГц.

Коэффициент шума приемника $K_{\text{ш}} = 7$ дБ для линии DL, $K_{\text{ш}} = 2,5$ дБ для линии UL.

Тип линии - UL, $T = 20^\circ$, $B = 3,84$ МГц, $K_{\text{ш}} = 2,5$ дБ, $G_{\text{обр}} = 4$ дБ. Услуга – телефония, скорость абонента – 3 км/час.

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

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

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

Мощность собственных шумов приемника

$$P_{\text{ш}} = N + K_{\text{ш}} = -108,2 + 2,5 = -105,7 \text{ дБ}.$$

Чувствительность приемника

$$P_{\text{пр}} = -105,7 + 7,9 - 4 = -101,8 \text{ дБ}.$$

3.4 Расчет максимально допустимых потерь сети LTE.

Максимально допустимые потери можно рассчитать по формуле:

$$L_{MARL} = P_{EIRP} - S_{Rx} + G_{RxA} - L_{RxF} - M_{Build} - M_{Int} - M_{Shade} + G_{HO}, \quad (3.23)$$

где P_{EIRP} – ЭИИМ передатчика, дБ;

S_{Rx} – чувствительность приемника, дБ;

G_{RxA} – коэффициент усиления антенны, дБи;

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

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

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

M_{Shade} – запас на затенение, дБ;

G_{HO} – выигрыш от хэндовера, дБ.

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

$$M_{Int} = -10 \cdot \log_{10}(1 - \eta), \quad (3.24)$$

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

Как видно, запас на внутрисистемные помехи это функция от загрузки соты, чем больше разрешенная нагрузка в соте, тем большую величину запаса необходимо учесть в расчете. При росте нагрузки до 100% запас на помехи стремится к бесконечности и зона обслуживания соты уменьшается до нуля. Зависимость значения данной величины от загрузки соты представлена на рисунке 3.2.

Выигрыш за счет мягкого хэндовера. Мягкий хэндовер имеет место в том случае, когда мобильная станция соединена как минимум с двумя сотами одновременно. В случае, если эти соты принадлежат двум разным базовым станциям (Node B), то объединение двух восходящих каналов осуществляется контроллером радиосети (RNC). В случае, если соты принадлежат одной базовой станции объединение сигналов осуществляется базовой станцией. В нисходящей линии объединение двух каналов осуществляется РАКЕ-приемником мобильной станции методом оптимального сложения. Можно рассматривать, как метод разнесенного приема, при использовании которого сигналы разных каналов складываются с учетом их весовых коэффициентов, а коэффициенты усиления в каждом канале прямо пропорциональны среднеквадратичному значению мощности сигнала и обратно пропорциональны среднеквадратичному значению мощности шума в этих каналах. При оптимальном сложении отношение сигнал/шум на выходе максимально. Выигрыш от мягкого хэндовера достигается за счет макро-разнесенного приема, следовательно уменьшает негативные эффекты от теневых зон и замираний. В реальной сети, зоны обслуживания большинства

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

Ограничение управления мощностью или запас на быстрые замирания. Алгоритм быстрого управления мощностью введен в UMTS для того, чтобы поддерживать требуемое значение E_b/N_0 на входе приемника постоянным во время быстрых замираний, обусловленных многолучевостью. глубина замираний может доходить до 30 дБ.

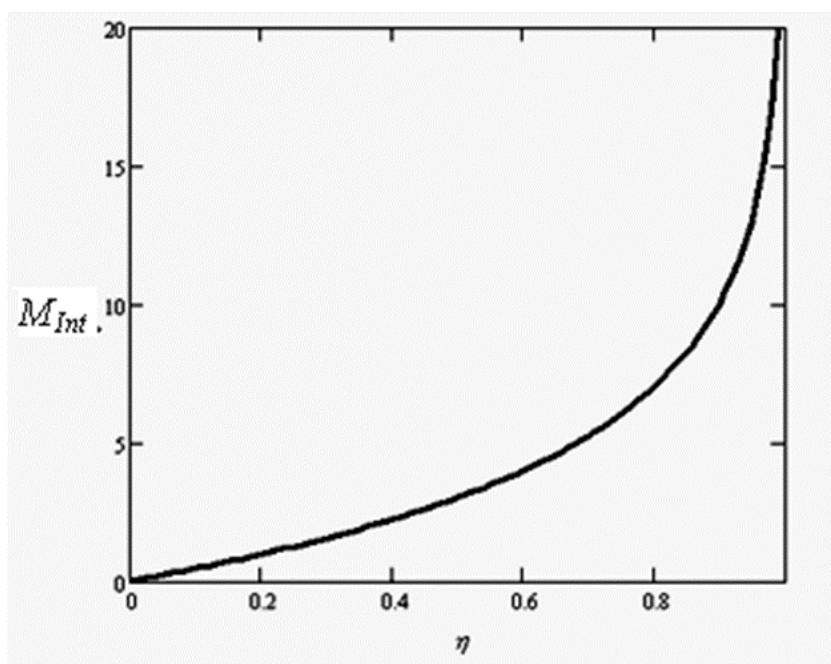


Рисунок 3.2 – Зависимость значения запаса на внутрисистемные помехи от значения относительной загрузки соты

Быстрое управление мощностью особенно важно для абонентов имеющих малую скорость передвижения, так как они не могут быстро изменить свое положение для компенсации глубоких замираний. На границе соты, мощность передатчика мобильной станции максимальная, таким образом, не остается запаса на управление мощностью для компенсации быстрых замираний.

Определим запас на помехи M_{Int} , дБ

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

где P_{EIRP} – ЭИИМ передатчика = 70 дБ;

S_{Rx} – чувствительность приемника = -97,6 дБ;

G_{RxA} – коэффициент усиления антенны = 12 дБ;

L_{RxF} – потери в фидерном тракте = 0,3 дБ;

M_{Build} – запас на проникновение в помещение = 17 дБ;

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

M_{Shade} – запас на затенение = 9 дБ;

G_{HO} – выигрыш от хендовера = 3

Максимально допустимые потери

$$L_{MARL} = 70 + 97,6 + 12 - 0,3 - 6,9 - 17 - 9 + 3 = 149,4 \text{ дБ.}$$

3.6 Расчет минимально допустимой мощности сигнала на входе приемника базовой станции.

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

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

(3.25)

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

$G_{обр}$ – выигрыш от обработки,

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

Для анализа выбран тип оборудования БС Nokia Flexi WCDMA BTS. Коэффициент шума приемника данной базовой станции менее 3 дБ. Для расчета примем $K_{ш}=3$ дБ. Мощность шумов приемника БС определим из формулы:

$$P_{ш} = N + K_{ш} \quad (\text{дБмВт}), \quad (3.26)$$

Минимально допустимое значение E_b/N_0 на входе приемника для данного типа сервиса составляет 1.7 дБ при скорости абонента 3 км/ч.

Выигрыш от обработки составляет:

$$G_{обр} = 10 \log(R_{\text{чип}}/R_{\text{польз}}), \quad (3.27)$$

где $R_{\text{чип}}$ - чиповая скорость стандарта UMTS, чип/с,

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

Также необходимо учесть выигрыш за счет мягкого хендовера и запас на внутрисистемные помехи. Величину выигрыша примем равной $G_{xo}=2$ дБ. Величину запаса на внутрисистемные помехи определим позже. Величину относительной загрузки соты для начального расчета примем равной 50%. Допустимым значением величины относительной загрузки соты считается 50%.

Запас на внутрисистемные помехи равен:

$$M_{Int} = -10 \cdot \log_{10}(1-\eta). \quad (3.28)$$

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

$$P_{прбс} = P_{ш} + (E_b/N_0)_{треб} - G_{обр} + L_n - G_{xo} \text{ (дБмВт)} \quad (3.29)$$

где $Kш=3$ дБ,

$$E_b/N_0 = 1.7 \text{ дБ,}$$

$$R_{шш} = 3,84 \cdot 10^6 \text{ чип/с, } R_{польз} = 384 \text{ кбит/с, } \eta = 0,5.$$

Мощность теплового шума в приемнике:

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

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

Мощность шумов приемника БС из (2.2):

$$P_{ш} = N + K_{ш} = -108,2 + 3 = -105,2 \text{ дБмВт.}$$

Выигрыш от обработки составляет:

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

Запас на внутрисистемные помехи равен:

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

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника БС равна:

$$P_{прбс} = P_{ш} + (E_b/N_0)_{треб} - G_{обр} + L_n - G_{xo} = -105,2 + 1.7 - 10 + 3 - 2 = -112,5 \text{ дБмВт.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, возможности и сетевое покрытие существующих сотовых сетей в современных условиях на рынке связи Казахстана являются ограниченными в сравнении с возможностями и покрытием сетей 4G UMTS, повсеместно развиваемыми операторами мобильной связи, и проигрывают им по доле рынка. В рамках развития мобильных сетей разрабатывается технико-экономическое обоснование для стратегического проекта по внедрению технологий мобильного широкополосного доступа и мобильной телефонии по технологии 4G LTE. В данной дипломной работе исследовались характеристики мобильной передачи данных стандарта LTE. Было исследовано сравнение БС, когда происходит включение новых сайтов на основе динамического режима и статистики эксплуатационной поддержки. Были исследованы внутрисистемные помехи, с помощью анализатора базовых станций. Внутрисистемные помехи являются основными недостатками, которые минимизируются благодаря координации помех между сотами, гибкому частотному плану.

В расчетной части получена путем прямого умножения ширины канала на спектральную эффективность канала.

В дипломной работе, можно отметить, что сканирующий приемник реализует критически важные аспекты аттестации сетей LTE: моделирование действий пользователей и работы сетевых сервисов, отличную масштабируемость тестовой среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспроводные сети. Первый шаг : Пер. с англ. - М. : Издательский дом «Вильямс», 2015.
2. Листвин А.В., Листвин В.Н. Рефлектометрия оптических волокон. М.: ЛЕСАРарт, 2015 - 208 с.
3. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети. 2 - е изд. - СПб: Изд-во «Вильямс», 2013.
4. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети 3-издание. СПб.: Изд-во «Питер», 2016. - 958с.;
5. Макаров С. Б. Телекоммуникационные технологии: введение в технологии GSM : учеб. пособие для высш. учеб. заведений / С. Б. Макаров, Н. В. Певцов, Е. А. Попов, М. А. Сиверс. - М. : Издательский центр "Академия", 2016. - 256 с.
6. Волков А. Н. UMTS. Стандарт сотовой связи третьего поколения / А. Н. Волков, А. Е. Рыжков, М. А. Сиверс. - СПб. : Издательство "Линк", 2018.- 224 с.
7. Кааринен Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы / Х. Кааринен, А. Ахтиайнен, Л. Лаитинен, С. Найан, В. Ниemi. - М. : Техносфера, 2017. - 464 с.
8. Попов Е. А. Технология GPRS пакетной передачи данных в сетях GSM : учеб. пособие / Е. А. Попов. - СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2018. - 182с..
9. Солонина А. И. Основы цифровой обработки сигналов. Курс лекций / А. И. Солонина, Д. А. Упахович, С. М. Арбузов, Е. Б. Соловьёва. - СПб. : БХВ - Петербург, 2015. - 768 с.
10. Гельгор А. Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.
11. Печаткин А. В. Системы мобильной связи. Часть 1. – РГАТА, Рыбинск, 2018.
12. Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Юрчук А. Б. Сети мобильной связи LTE: технология и архитектура. - М.: Эко-Трендз, 2010.
13. Moray Rumney and Agilent Technologies //LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges, 2013.
14. LTE в мире: первые итоги - http://www.sib.com.ua/arhiv_2011/2011_4/statia_4_5_2011/statia_4_5_2011.htm, 2009.
15. Базовые станции Nokia Siemens Networks Flexi Multiradio для сетей LTE - <http://www.mforum.ru/news/article/094262.htm>, 2010.
16. Evolve your wireless broadband network <http://www.alcatel-lucent.com/solutions/lightradio>, - Published October 23, 2012.

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

На дипломную работу

«Исследование характеристик мобильной передачи данных по технологии LTE».

Оразалы Аружан Ержанкызы

6B06201 –Телекоммуникация

В данной дипломной работе рассмотрено исследование характеристик мобильной передачи данных по технологии LTE. Данная технология является масштабируемой, наиболее эффективной с точки зрения удельных затрат на абонента и использования доступного частотного диапазона, а также способна предложить высокие качественные параметры для развития сервисов – высокую полосу пропускания (до 450 Мбит/с на базовую станцию) и низкий уровень задержек (до 20 мс).

Дипломная работа представляет собой тщательное исследование и анализ различных характеристик передачи данных в мобильных сетях с использованием технологии LTE.

В дипломной работе студента демонстрируется глубокое понимание основных принципов и характеристик передачи данных по технологии LTE. В обзоре литературы студент представил обширный и информативный анализ существующих характеристик и параметров передачи данных в LTE. Она также провела сравнительный анализ технологии LTE с другими поколениями мобильных сетей, что является ценным вкладом в область исследования.

Методология исследования, примененная студентом, была обоснована и хорошо разработана. Она определила выборку и источники данных, а также провела сбор и анализ данных, необходимых для исследования характеристик передачи данных в LTE. Полученные результаты были представлены и анализированы с аккуратностью и критическим подходом.

На основе проведенного исследования и представленных результатов, студент сделала выводы, которые являются логическим завершением её работы. Она также предложила рекомендации для дальнейших исследований в области передачи данных по технологии LTE.

В целом, дипломная работа рекомендуется на оценку «95/B+/отлично», а Оразалы Аружан Ержанкызы заслуживает присвоения академической степени бакалавра по образовательной программе 6B06201- «Телекоммуникация».

Научный руководитель

старший преподаватель, доктор Ph.D.

(должность, уч. степень, звание)

Юсупова Г.М.

(подпись)

«май» 2023 г.

РЕЦЕНЗИЯ

На дипломную работу

«Исследование характеристик мобильной передачи данных по технологии LTE»

Оразалы Аружан Ержанкызы

6B06201 –Телекоммуникация

графический раздел 22 страниц;

пояснительная записка 36 стр.

Дипломная работа представляет собой тщательное исследование и анализ различных характеристик передачи данных в мобильных сетях с использованием технологии LTE.

В дипломной работе студента демонстрируется глубокое понимание основных принципов и характеристик передачи данных по технологии LTE. В обзоре литературы студент представил обширный и информативный анализ существующих характеристик и параметров передачи данных в LTE. Она также провела сравнительный анализ технологии LTE с другими поколениями мобильных сетей, что является ценным вкладом в область исследования.

Методология исследования, примененная студентом, была обоснована и хорошо разработана. Она определила выборку и источники данных, а также провела сбор и анализ данных, необходимых для исследования характеристик передачи данных в LTE. Полученные результаты были представлены и анализированы с аккуратностью и критическим подходом.

На основе проведенного исследования и представленных результатов, студент сделала выводы, которые являются логическим завершением её работы. Она также предложила рекомендации для дальнейших исследований в области передачи данных по технологии LTE.

Данная дипломная работа выполнена на хорошем техническом уровне и заслуживает присвоения степени бакалавр.

Оценка работы

В целом, дипломная работа рекомендуется на оценку «95/В+/отлично», а Оразалы Аружан Ержанкызы заслуживает присвоения академической степени бакалавра по образовательной программе 5B071900- «Телекоммуникация».

РЕЦЕНЗЕНТ

Зав.кафедрой, кафедры

«Радиотехники, электроники и телекоммуникации»

к.т.н., Международного университета информационных технологий

Бахтиярова Е.А.

(подпись)

«25» мая 2023 г.

Подпись указанного лица удостоверяется
Менеджер по персоналу
Мусашиев М.К. АИУ

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Оразалы Аружан Ержанкызы

Тақырыбы: Исследование характеристик мобильной передачи данных по технологии LTE

Жетекшісі: Ерлан Таштай

1-ұқсастық коэффициенті (30): 9.8

2-ұқсастық коэффициенті (5): 4.9

Дәйексөз (35): 0.6

Әріптерді ауыстыру: 27

Аралықтар: 11

Шағын кеңістіктер: 80

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Оразалы Аружан Ержанкызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Исследование характеристик мобильной передачи данных по технологии LTE

Научный руководитель: Ерлан Таштай

Коэффициент Подобия 1: 9.8

Коэффициент Подобия 2: 4.9

Микропробелы: 80

Знаки из здругих алфавитов: 27

Интервалы: 11

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

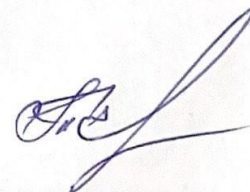
Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата 1.06.2023 г.

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Оразалы Аружан Ержанкызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Исследование характеристик мобильной передачи данных по технологии LTE

Научный руководитель: Ерлан Таштай

Коэффициент Подобия 1: 9.8

Коэффициент Подобия 2: 4.9

Микропробелы: 80

Знаки из других алфавитов: 27

Интервалы: 11

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

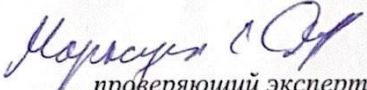
Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата 1.06.2023 г.


проверяющий эксперт