

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра «Радиотехники»

Специальность 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

к.т.н., доцент Сатимова Е.Г.

(ученая степень, звание, ФИО) (подпись)

« _____ » 2015 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
пояснительная записка

на тему: Исследование возможности разгрузки сетей сотовой связи с использованием технологии WiFi Offload и Femto сетей

Магистрант Быков Р.Н.
(Ф.И.О.)


(подпись)

группа МРЭн-13-1

Руководитель к.т.н., доцент
(ученая степень, звание)


(подпись)

Байкунов А.С.
(Ф.И.О.)

Рецензент проф., к.т.н.
(ученая степень, звание)


(подпись)

Кубеков Б.С.
(Ф.И.О.)

Консультант по ВТ ст.преп.
(ученая степень, звание)


(подпись)

Куликов А.С.
(Ф.И.О.)

Нормоконтроль ст.преп.
(ученая степень, звание)


(подпись)

Лановенко М.В.
(Ф.И.О.)

Алматы, 2015

Рекомендуемая основная литература

1. Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Дмитриев В.И. Системы мобильной связи.-СпбГТУ.-Спб.,1999
2. Вишневецкий В.М., Широкополосные беспроводные сети передачи информации / Вишневецкий В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В.-М.: Техносфера,2005.- 597с.
3. CDMA: прошлое, настоящее и будущее. Под ред. Проф. Варакина Л.Е. и проф. Ю.С. Шинакова.-М.:МАС.-2003.

Г Р А Ф И К
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1 Эволюция сетей сотовой связи	06.11.2013	
2 Прогноз роста трафика передачи данных	03.03.2014	
3 Возможные методы разгрузки сетей сотовой связи	11.03.2014	
4 Экспериментальная часть	05.06.2015	

Дата выдачи задания _____

Заведующий кафедрой _____ (Сатимова Е.Г.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации _____ (Байкенов А.С.)
(подпись) (Ф.И.О.)

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

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»**

Факультет «Радиотехники, электроники и связи»
Специальность 6М071900 «Радиотехники, электроники и телекоммуникации»
Кафедра «Радиотехники»

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Быков Р.Н.
(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации «Исследование возможности разгрузки сетей сотовой связи с использованием технологии WiFi Offload и Femto сетей»

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

Срок сдачи законченной диссертации « »

Цель исследования состоит в оценке возможности использования альтернативных технологий для разгрузки основных сетей сотовой связи

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

1. Эволюция сетей сотовой связи _____
2. Прогноз роста трафика передачи данных _____
3. Прогноз роста трафика передачи данных _____
4. Экспериментальная часть _____

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

- Рисунок 1.1 - Структурная схема сети GSM/UMTS. _____
- Рисунок 1.2 - Архитектура сети стандарта LTE _____
- Рисунок 2.6 - Динамика роста трафика на GSM сети оператора _____
- Рисунок 2.10 - Мировое покрытие по сетям _____
- Рисунок 4.3 - Измерительный комплекс Nemo Outdoor _____
- Рисунок 4.7 - Значения индикатора RSCP после включения Femto сот. _____

Аңдатпа

Бұл магистрлік жұмыста WiFi offload және Femto желілерінің технологияларының, олдана отырып, ұялы байланыс желісін босату әдісі қарастырылды. Тест режимінде ғимарат ішіне Femto желісі құрылды және іске қосылады. Қабылданатын сигналды өлшеу деңгейі және Femto стансасын іске қосқанға дейінгі және кейінгі мәліметтерін тарату жылдамдығы келтірілді. Алынған нәтижелерге талдау жасалды.

Аннотация

В данной магистерской диссертации рассматриваются методы разгрузки сетей сотовой связи с использованием технологий WiFi offload и Femto сетей. В тестовом режиме настроена и запущена Femto сеть внутри здания. Проведены измерения уровня принимаемого сигнала и скорость передачи данных до и после запуска Femto станций. Выполнен анализ полученных результатов.

Annotation

This master's thesis examines offload methods of cellular networks using WiFi offload and Femto networks. Femto network was configured and running in test mode. The level of received signal code power and application throughput were measured before and after Femto network launch. All results were analyzed.

Содержание	
Введение.....	6
1 Эволюция беспроводных сетей доступа.....	7
1.1 Первое поколение 1G.....	8
1.2 GSM.....	9
1.3 UMTS.....	10
1.4 LTE.....	11
1.5 CDMA one, CDMA2000.....	15
1.6 Wi-Fi.....	15
2 Перспективы роста трафика в ближайшее время.....	17
2.1 Ключевые факторы глобального роста мобильного трафика.....	17
2.2 Влияние межмашинных соединений и носимых устройств.....	18
2.3 Рост использования технологий 4G.....	19
2.4 Рост мобильного облачного трафика.....	21
2.5 Глобальный трафик в мобильных сетях.....	22
2.6 Мобильный дата-трафик: прогноз развития.....	23
2.7 Состояние сетей. Мировое покрытие по сетям.....	27
2.8 Трансформация M2M (межмашинного воздействия).....	29
2.9 Распределение устройств M2M по сетям.....	30
3 Методы разгрузки опорной сети.....	31
3.1 WiFi offload.....	31
3.2 Хотспот стандарта WiFi следующего поколения (Hotspot 2.0).....	35
3.3 Выделенный элементы PCRF.....	36
3.4 Туннели GTP в сторону традиционного GGSN.....	37
3.5 PCC Интеграция.....	38
3.6 LTE.....	38
3.7 Хендоверы.....	42
3.8 Варианты для хендовера из 3G в сети стандарта Wi-Fi.....	44
3.9 Мобильность между радиосетями. Заключение.....	45
3.10 Недоверенная не-3GPP сеть IP-доступа.....	45
3.11 Femto сети.....	46
4 Экспериментальная часть.....	50
4.1 Методика проведения эксперимента.....	50
Заключение.....	57
Перечень сокращений.....	
Список литературы.....	58
Приложение А Используемые программы.....	59
Приложение Б Используемые программы.....	60
Приложение В Справка на предмет проверки плагиата.....	
Приложение Г Электронная версия МД видеодемонстрационные материалы (CD-R)	
Приложение Д Раздаточные материалы (формат А4 – 10 листов)	

Введение

Мобильные технологии связи получили быстрое развитие ввиду постоянно растущего спроса на все более высокие скорости передачи данных и более высокое качество предоставляемых сервисов, а также из-за стремительного увеличения трафика, особенно с появлением смартфонов. Новые поколения iPhone, BlackBerry и Андроидов одновременно с сетями 3G/4G поколения позволили получить и оценить опыт доступа к интернет посредством мобильных устройств. Мобильный дата трафик, передаваемый через сотовые сети растет экспоненциально, что одновременно является большой возможностью и серьезным вызовом для всех мобильных операторов сотовой связи. Значительное снижение средней стоимости за 1 мегабайт, а также мобильные версии сервисов социальных сетей, приложения Whatsapp и Instagram открыли двери для миллионов терабайт передаваемой информации, что в значительной степени привело к текущей загруженности сетей 3 и 4 поколений в мире в целом и в Казахстане в частности.

Основная идея данной работы заключается в рассмотрении возможностей, позволяющих справиться с возникшими перегрузками, перенаправив часть трафика в так называемые Фемто сети и использование технологии WiFi Offload. Эта разгрузка подразумевает использование дополнительных сетевых технологий для передачи данных, которые первоначально должны были передаваться через стандартные сети сотовой связи, тем самым экономя средства и частично освобождая мобильные телефонные сети. Целью данной работы является развертывание тестовой Femto сети внутри здания, проведение измерений основных показателей радио условий, таких как RSCP, Ec/NO и скорости передачи данных. Измерения планируется проводить с использованием тестового оборудования и программного обеспечения Nemo Inveh, обработка полученных данных будет производиться с использованием программы Nemo Analyze.

1 Эволюция беспроводных сетей доступа

В данной части представлено описание эволюционных трендов технологий беспроводного доступа, основные характеристики которых указаны в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные характеристики технологий

Технология	Стандарт	Технология доступа	Скорость в DL	Скорость в UL
GSM	ETSI	TDMA/FDMA	0.384	0.384
UMTS-TDD	UMTS/3GSM	CDMA/TDD	16	
UMTS W-CDMA HSDPA+HSUPA	UMTS/3GSM	CDMA/FDD CDMA/FDD MIMO	1.6 14.4	0.5 5.76
HSPA+	3GPP	CDMA/FDD MIMO	21 42 84 672	5.8 11.5 22 168
EDGE Evolution	3GPP	TDMA/FDD	1.6	0.5
LTE	GSM	OFDMA/MIMO O/SC-FDMA	100 Cat3 150 Cat4 300 Cat5 (in 20 MHz FDD)	50 Cat3/4 75 Cat5 (in 20 MHz FDD)
WLAN	3GPP	OFDM/MIMO	300 (используя конфигурацию 4x4 с несущей в 20 MHz) или 600 (используя конфигурацию 4x4 с несущей в 40 MHz)	
Wimax	802.11 (11n)	MIMO-SOFDMA	128 (несущая 20MHz FDD)	56 (несущая 20 MHz FDD)

EV-DO Rel.0			2.45	0.15
EV-DO Rel.A	802.16	CDMA/FDD	3.1	1.8
EV-DO Rel.B			4.9xN	1.8xN

С момента проведения первых экспериментов с радио, проводимых Поповым и Маркони в 1890 х годах, до беспроводной коммуникации которую мы видим в настоящем, прошло много времени. Как известно, первое поколение мобильных радио систем (1G), основанных на аналоговой передачи голосовых сервисов, были представлены только в начале 1980 годов. Для понимания всей сложности технологий 3 и 4 поколений сегодня, необходимо проследить весь путь развития от нескольких абонентов в прошлом, до сегодняшнего дня, когда более половины всего населения земного шара используют глобальную мобильную систему, и не представляют себе нормальной жизни без всех современных гаджетов и постоянного доступа к сети Интернет. Развитие мобильных стандартов также претерпело серьезные изменения с уровня отдельных региональных объединений до становления сложных организаций, таких как 3GPP (3rd Generation Partnership Project), которая насчитывает тысячи работников [1].

Проблема обеспечения сетевого покрытия в труднодоступных и плотно населенных местах по мере насыщения рынка становится все более актуальной. Новейшие системы и решения, обеспечивающие покрытие, позволяют получать существенные дополнительные доходы. Качественное покрытие радиосети помогает привлекать новых абонентов, уменьшает отток абонентов. Значение этого фактора возрастает по мере появления новых технологий высокоскоростной передачи данных, а также услуг 3G [2]. Без сомнения, мобильная связь на сегодняшний день является одной из наиболее мощных движущих сил в индустрии телекоммуникаций. Значительный рост полосы пропускания, являющийся сегодня характерным для фиксированных сетей, станет необходимым условием развития наземной и спутниковых систем подвижной связи. В развитых странах и некоторых развивающихся емкость сетей сотовой связи уже превысила аналогичный показатель для стационарных сетей и плотность мобильной телефонной связи (число мобильных телефонов на 100 жителей) превышает 100 % [3].

В данной работе будет проведен анализ целесообразности использования фемто сот для обеспечения необходимого радио покрытия в помещении, оценка которого будет проводиться с использованием измерительного комплекса Nemo Outdoor и программного обеспечения Nemo Analyze.

1.1 Первое поколение 1G

Самым известным из первого поколения стандартов является NMT (Nordic Mobile Telephone System). Его конечная спецификации были принята в 1978 году пятью скандинавскими странами (Финляндией, Данией, Исландией, Швецией и Норвегией). Поколение 1G представляет собой набор

аналоговых стандартов мобильной сотовой связи. Стандарт NMT работал в диапазоне частот 453,0-457,5 МГц, использовал до 180 каналов связи по 25 кГц каждый. Радиус действия базовой станции достигал 5-25 км в зависимости от нагрузки на каждую из последних. В 1983 году была разработана модернизированная версия NMT-900 (первая условно называлась NMT-450), работавшая на частоте 900 МГц. Выход этого обновлённого стандарта позволил уменьшить размеры используемых телефонных аппаратов, а также добавить некоторые новые сервисы. Тем не менее, спустя некоторое время NMT отошёл на второй план, уступая дорогу более прогрессивным цифровым стандартам. Вполне естественно, что первое поколение сотовой связи не смогло с ними конкурировать. Даже несмотря на то, что качество аналоговой беспроводной связи в целом было удовлетворительным, разговор можно было легко перехватить и расшифровать.

В эру 1G не было необходимости задумываться об услугах передачи данных — это были полностью аналоговые системы, спроектированные и разработанные исключительно для осуществления голосовых вызовов и некоторых других скромных возможностей. Модемы существовали, однако из-за того, что беспроводная связь более подвержена шумам и искажениям, чем обычная проводная, скорость передачи данных была невероятно низкой. К тому же, стоимость минуты разговора в 80-х была такой высокой, что мобильный телефон мог считаться роскошью.

1.2 GSM

В Европе начале 80-х годов аналоговые системы сотовой телефонии находились в стадии стремительного роста, особенно в Скандинавии и Великобритании, а также во Франции и Германии. Каждое государство развивало свою собственную систему, которая была несовместима с другими по оборудованию и функционированию. Такая ситуация оказалась нежелательной, не только из-за ограниченности действия мобильных устройств в пределах своих стран, но и из-за ограниченности рынка по отношению к каждому типу оборудования, что не позволяло создать оправданной маркетинговой политики.

В Европе это было осознано достаточно рано, и в 1982 г. На Конференции Европейских Почтово-Телеграфных Служб (Conference of European Posts and Telegraphs - CEPT) была сформирована группа, названная Groupe Special Mobile (GSM), для изучения и развития паневропейской наземной системы мобильной связи общего назначения.

В 1989 г. функции группы GSM были переданы Европейскому Институту Телекоммуникационных Стандартов (European Telecommunication Standards Institute - ETSI), и фаза I спецификаций GSM была опубликована в 1990 г. Коммерческое использование началось в середине 1991 г., и к 1993 г. уже было 36 сетей GSM в 22 странах [6]. Стандартизованные в Европе, сети GSM стали не только европейским стандартом. Свыше 200 сетей GSM

(включая DCS1800 и PCS1900) функционируют в 110 странах мира. В начале 1994 г. было около 1.3 миллиона подписчиков в мире [18], число которых возросло до 55 миллионов к октябрю 1997г. Сейчас сети GSM существуют на всех континентах, и акроним GSM обозначает теперь "Global System for Mobile communications".

Разработчики GSM избрали не испытанный к тому времени цифровой принцип построения, в противоположность таким признанным в качестве стандарта системам, как AMPS в США и TACS в Великобритании. Они рассчитывали, что прогресс в алгоритмах сжатия и обработчиках цифровых сигналов позволят удовлетворить первоначальным требованиям и постоянно улучшать систему в отношении цены и качества. Свыше 8 тыс. страниц рекомендаций GSM рассчитаны на гибкость и изобретательность поставщиков, но в то же время обеспечивают достаточную степень стандартизации, чтобы гарантировать взаимодействие всех компонент единой системы. Это было достигнуто описанием функциональности и интерфейса всех функциональных единиц, определенных в системе.

Появление сервиса «General Packet Radio Service» (GPRS) в 1997 году стало переломным моментом в истории сотовой связи, потому что он предложил для существующих GSM сетей технологию непрерывной передачи данных. С использованием новой технологии, вы можете использовать передачу данных только тогда, когда это необходимо — нет больше глупой CSD, похожей на телефонный модем. К тому же, GPRS может работать с большей, чем CSD, скоростью — теоретически до 100 кБит/с, а операторы получили возможность тарифицировать трафик, а не время на линии. GPRS появился в очень подходящий момент — когда люди начали непрерывно проверять свои электронные почтовые ящики.

Это нововведение не позволило добавить единицу к поколению мобильной связи. В то время, как технология GPRS уже была на рынке, Международный Союз Электросвязи (ITU) составил новый стандарт — IMT-2000 — утверждающий спецификации «настоящего» 3G. Ключевым моментом было обеспечение скорости передачи данных 2 МБит/с для стационарных терминалов и 384 кБит/с для мобильных, что было не под силу GPRS.

1.3 UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) — технология сотовой связи, разработанная Европейским институтом стандартов телекоммуникаций (ETSI). Сотовые сети, использующие данную технологию, относят к сетям третьего поколения (сетям 3G). К основным отличиям сетей UMTS от сетей GSM относят использование широкополосных сигналов (сигнал может занимать полосу либо 5 МГц, либо 1,6 МГц), и внедрение широкополосной технологии множественного доступа с кодовым разделением каналов (W-CDMA). Стандарты третьего поколения пришли на смену стандартам 2G. В первую очередь их появление обусловлено возросшими

потребностями абонентов в скорости передачи данных. Стандарт UMTS (Universal Mobile Telecommunications System - Универсальная система мобильной связи) нашел наибольшее распространение среди других стандартов этого поколения на территории Европы, в том числе и России.

Разработка стандарта UMTS началась в 1992 году организацией по стандартизации IMT-2000. Впоследствии разработка этого стандарта была поручена 3GPP. Первая сеть UMTS была запущена в коммерческую эксплуатацию 1 декабря 2001 года в Норвегии. К маю 2010 года число абонентов переваливает за 540 миллионов по всему миру.

Скорость передачи данных для сетей UMTS может иметь значения до 2 Мбит/сек. Благодаря технологии HSDPA - High Speed Downlink Packet Access (3.5G), которая была внедрена в 2006 году пиковая скорость возросла до 14 Мбит/сек. Эти и другие преимущества UMTS позволяют предоставлять абонентам широчайший перечень предоставляемых услуг: видеоконференции, видеозвонки, голосовые звонки высокого качества, загрузка файлов с высокой скоростью, сетевые игры, мобильная коммерция, роуминг и другое.

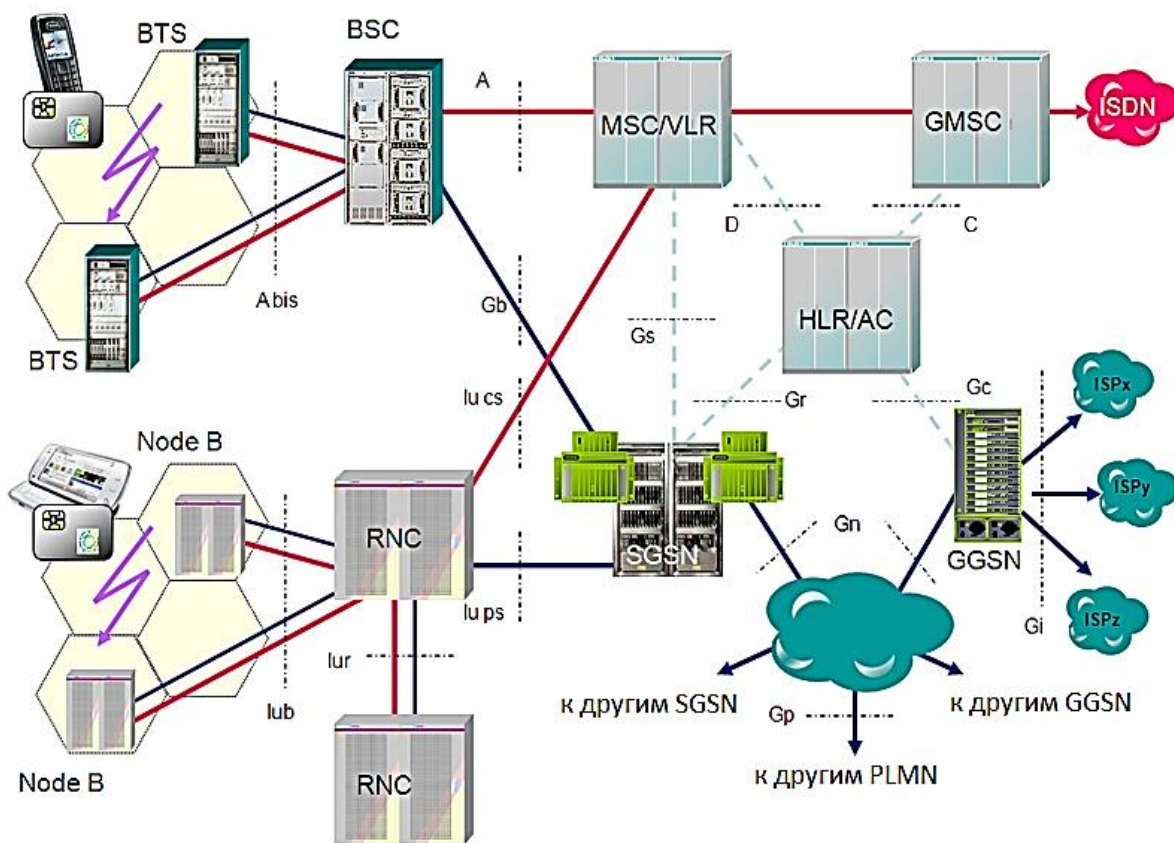


Рисунок 1.1 - Архитектура сетей GSM/UMTS

1.4 LTE

Технология LTE (Long-Term Evolution) - это основное направление эволюции сетей сотовой связи третьего поколения. В январе 2008 года международным объединением Third Generation Partnership Project (3GPP), разрабатывающим перспективные стандарты мобильной связи, был

утвержден стандарт LTE следующим после UMTS стандарта широкополосной сети сотовой связи.

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

По данным международной ассоциации GSMA, 26 операторов в мире заявили о планах построения сетей LTE в ближайшие два-три года. В их числе - Vodafone, Verizon Wireless, TeliaSonera, NTT DoCoMo и KDDI. По оценке аналитиков, в коммерческую эксплуатацию в 2010 г будут запущены до 10 сетей LTE в мире.

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

Главное отличие сетей четвертого поколения 4G от предыдущего, третьего, заключается в том, что эта технология полностью основана на протоколах пакетной передачи данных, в то время как 3G соединяет в себе передачу, как голосового трафика в режиме коммутации каналов, так и пакетов данных. Международный союз телекоммуникаций определяет технологию 4G как технологию беспроводной коммуникации, которая позволяет достичь скорости передачи данных до 1 Гбит/с в условиях движения источника или приемника и до 100 Мбит/с в условиях обмена данными между двумя мобильными устройствами. Пересылка данных в 4G осуществляется по протоколу IPv6 (IP версии 6). Это заметно облегчает работу сетей, особенно если они различных типов. Для обеспечения необходимой скорости передачи используются частоты от 2 до 40 и 60 ГГц.

Создатели приемопередающего оборудования для 4G применили испытанный в цифровом вещании прием – технологию мультиплексирования с ортогональным разделением частот (OFDM). Такая методика манипулирования сигналом позволяет значительно «уплотнить» данные без взаимных помех и искажений. При этом происходит разбиение по частотам с соблюдением ортогональности: максимум каждой несущей волны приходится на тот момент, когда соседние имеют нулевое значение. Этим исключается их взаимодействие, а также более эффективно используется частотный спектр – не нужны защитные «противо-интерференционные» полосы.

Для передачи сигнала применяется модуляция со сдвигом фазы (PSK и ее разновидности), при которой пересылается больше информации за отрезок времени, или квадратно амплитудная (QAM), более современная и позволяющая выжать максимум из пропускной способности канала. Конкретный тип выбирается в зависимости от требуемой скорости и условий приема. Сигнал разбивается на определенное количество параллельных потоков при передаче и собирается при приеме. Для уверенного приема и

передачи на сверхвысоких частотах планируют применять так называемые адаптивные антенны, которые смогут подстраиваться под конкретную базовую станцию. Но в условиях города таким антеннам в определении правильного направления могут помешать замирания сигнала – его искажения, возникающие в процессе распространения. Здесь выручает еще одна особенность OFDM – стойкость к замираниям (для разных типов модуляции есть свой запас на замирания). Возможна и работа в условиях отсутствия прямой видимости, что так мешает телефонам стандарта GSM. Недостатки OFDM – чувствительность к доплеровским искажениям и требовательность к качеству электронных компонентов.

Технология LTE (Long Term Evolution) – это логическое продолжение развития сетей 3G. В среднесрочной перспективе она будет определять развитие систем сотовой связи в мире. Эта технология способна обеспечить скачкообразное (теоретически, в десятки раз) увеличение скорости передачи данных по сравнению с действующими мобильными сетями. Внедрение LTE теоретически позволит обеспечить скорость передачи данных до 346 Мбит/с в полосе частот 20 МГц, а при использовании технологии LTE-Advanced – примерно до 1 Гбит/с. в полосе 100 МГц. LTE полностью совместима с существующими сетями: звонок или сеанс передачи данных, инициированный в зоне покрытия LTE, технически может быть передан без разрыва в сети GSM/GPRS/EDGE, WCDMA, CDMA2000.

LTE становится главной перспективой развития телекома в мире, бизнес приоритетом и ключевым элементом стратегий развития операторов связи. Сегодня в мире превалирует мнение, что, если оператор не задумывается об LTE, он ограничивает свою жизнь на рынке. В январе 2008 года международное партнерское объединение Third Generation Partnership Project (3GPP), разрабатывающее перспективные стандарты мобильной связи (GSM, GPRS, EDGE, UMTS (WCDMA) и др.), утвердило LTE в качестве следующего после UMTS стандарта широкополосной сети мобильной связи.

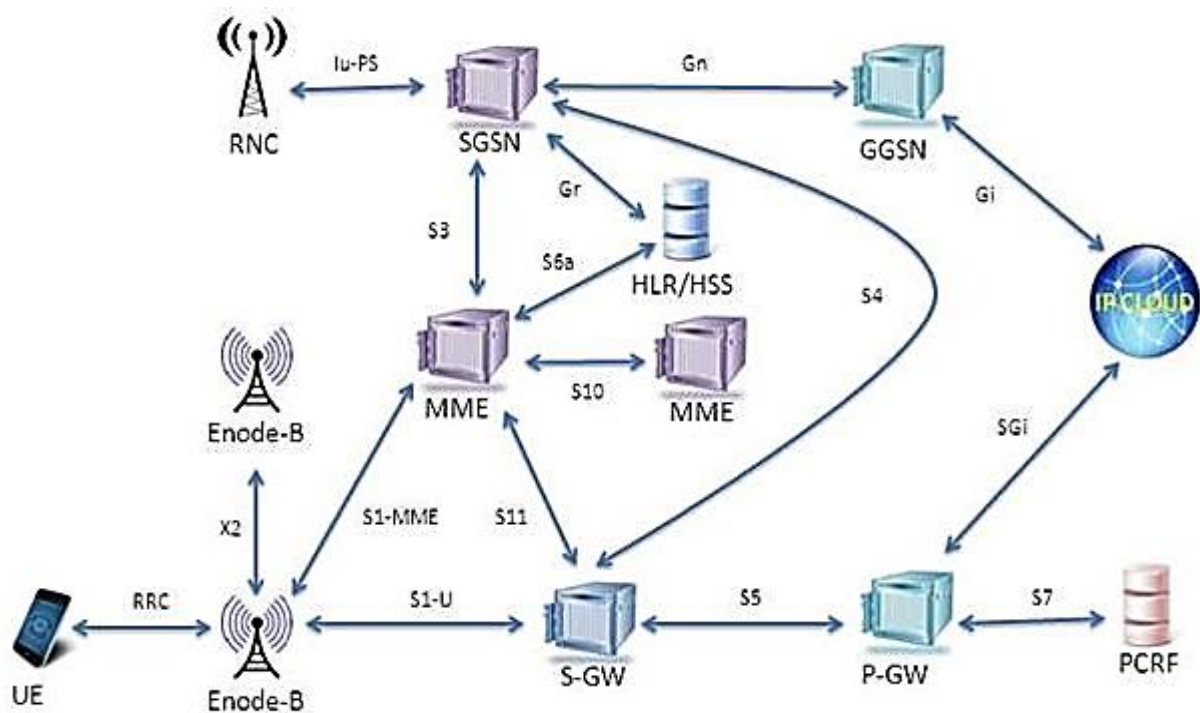


Рисунок 1.2 – Архитектура технологии LTE

Главное преимущество LTE – высокая скорость. Но скорость есть и у UMTS, и у WIMAX. Очень важным преимуществом LTE является то, что эту технологию можно внедрять на довольно широком диапазоне частот. В мире существует несколько частотных диапазонов, на которых можно запускать LTE. Прежде всего, это 1800 МГц и 2,6 ГГц. Можно использовать и диапазон 900 МГц, но в настоящее время мало кто из операторов рассматривает его сегодня для LTE. Изначально под развитие этой технологии предполагались частоты 2,6 ГГц, но из-за ряда трудностей (в основном связанными с занятостью диапазона специальными пользователями) этот диапазон практически не используется. В Европе чаще говорят о диапазоне 800 МГц, особенно в связи с так называемым цифровым дивидендом или освобождением частот этого диапазона после перевода телевизионного вещания в цифровой формат. В настоящее время там проходят тендеры и аукционы на частоты 800 МГц.

Следует особо заметить, что широкое внедрение LTE зависит от наличия абонентских устройств и операторского оборудования, работающих на основе этой технологии. Основные производители операторского оборудования LTE сегодня Ericsson, Alcatel-Lucent, Nokia Siemens Networks, Fujitsu, Motorola, Panasonic, Starent, ZTE. В настоящее время активность в плане разработки чипсетов и абонентских устройств с поддержкой LTE проявляют LG, Samsung, Huawei Technologies, Sandbridge Technologies, Altair Semiconductor и другие крупные производители. Скорее всего, производители пойдут по пути постепенного расширения линейки абонентских устройств. Сначала это будут USB-модемы и PC-карты (двухстандартные, с поддержкой протоколов HSDPA и LTE), затем – встроенные модемы в нетбуках, интернет-

планшетах и ноутбуках, и только потом – новые модели коммуникаторов и смартфонов с интегрированными LTE-чипами.

1.5 CDMA one, CDMA2000

CDMA one был разработан компанией QUALCOMM, а его коммерческое применение началось в 1995 году (GSM - в 1991 году). Несмотря на то, что CDMA был представлен на несколько лет позже своего основного конкурента, GSM, он имеет ряд преимуществ. В первую очередь это относится к скорости передачи данных. Если у GSM предел не превышает 9,6 кбит/с, то у CDMA скорость передачи данных до 1,23 Мбит/с. Ещё одним важным отличием является использование распределённого спектра. Для оборудования такой сигнал будет выглядеть небольшим возвышением над обычным уровнем шума. В связи с этим его крайне сложно обнаружить и идентифицировать. Подобный метод также используется в военных целях, так что во время разговора по CDMA-телефону.

CDMA2000 является основным конкурентом европейской версии UMTS. Работа по стандартизации CDMA2000 координируется группой Third Generation Partnership Project 2 (3GPP2, группа развития CDMA (CDMA Development Group) обращается за советами к 3GPP2).

Несмотря на то, что стандарты «W-CDMA» и «CDMA2000» имеют общую аббревиатуру в своих названиях, это совершенно разные системы, использующие различные технологии. Тем не менее, есть надежда, что мобильные терминалы, работающие в этих несовместимых стандартах, когда-нибудь научатся «общаться» друг с другом.

CDMA2000 имеет 2 фазы развития: первая 1XRTT, также известная как 1X, обеспечивает скорость передачи данных до 144 Кбит/с, и может быть усовершенствована до второй фазы — 3XRTT (или 3X), где скорость достигает 2 Мбит/с.

Другая эволюционная ступень подразумевает 2 стандарта CDMA2000 1X EV («EV» = «Evolution», «эволюция, развитие»). CDMA2000 1X EV-DO («Data Only» — «только данные») будет использовать различные частоты для передачи голоса и данных. В следующей ступени — стандарт CDMA2000 1X EV-DV («Data and Voice» — «данные и голос») произойдет интеграция голоса и данных в одном частотном диапазоне.

1.6 Wi-Fi

Wi-Fi - (англ. аббревиатура от Wireless Fidelity - беспроводная высокая точность) – это стремительно набирающий обороты формат передачи цифровых данных по нелицензируемым радиоканалам. Технология Wi-Fi постоянно совершенствуется, это позволяет передавать большой поток данных, обеспечивать более надежную связь и защиту. Последнее время Wi-Fi технологиями снабжаются все ноутбуки, большинство сотовых телефонов, КПК, игровые приставки и даже компьютерные беспроводные мыши. Wi-Fi был разработан в 1991 NCR Corporation/AT&T (впоследствии — Lucent и

Agere Systems) в Ньивегейн, Нидерланды. Инициатором и координатором работ был комитет по стандартизации локальных сетей IEEE 802 (Institute of Electrical and Electronic Engineers). В 1990 году по указанию этого комитета организована специальная рабочая группа, в задачи которой входила разработка первого полноценного стандарта беспроводных локальных сетей. Wi-Fi - технология изначально разрабатывалась для систем кассового обслуживания.

На создание конечного продукта потребовалось семь лет, и только в 1997 году новоиспеченный стандарт IEEE 802.11 был представлен широкой публике. Впрочем, потребители встретили первую версию Wi-Fi без особого энтузиазма - проблема заключалась в том, что на разработку технологии ушло непростительно много времени, и к моменту презентации стандарт успел заметно устареть. Помимо весьма низкой пропускной способности, не превышающей 2 Мбит/с (что тогда уже было просто смешно для локальной сети), мало кого могло устроить посредственное качество связи, чрезмерная медлительность и весьма низкая дальность действия стандарта, при этом цена на оборудование могла запросто зашкаливать за несколько тысяч долларов.

Однако сама идея беспроводного доступа в Интернет и к ресурсам локальной сети внутри офиса, гостиницы, вокзала или аэропорта была большинством оценена по достоинству. В любом случае, разработчики не собирались прекращать доведение технологии до ума, и осенью 1999 года выпустили сразу две новые спецификации, названные 802.11a и 802.11b, и обеспечивающие максимальную пропускную способность в 54 Мбит/с и 11 Мбит/с соответственно. Первым на прилавки поступило Wi-Fi оборудование, совместимое с 802.11b, и на этот раз народного признания не пришлось долго ждать. В рекордно короткие сроки технологии Wi-Fi удалось выйти на мировую арену и составить серьезную конкуренцию классическим способам организации локальной сети, таким как Ethernet. Этому способствовало резкое падение цен на Wi-Fi оборудование, и, конечно же, избавление от множества "юношеских" проблем технологии Wi-Fi, присущих первой спецификации.

Реальные устройства, поддерживающие стандарт 802.11a, появились в продаже лишь в 2001 году, однако рынок был уже настолько заполнен оборудованием 802.11b, что даже несмотря на практически пятикратно возросшую пропускную способность, первое время новая спецификация оставалась в тени. Следующий виток эволюции технологий Wi-Fi начался летом 2003 года, когда разработчики закончили следующую версию стандарта - 802.11g, совмещающую в себе преимущества предыдущих двух редакций. На данный момент большая часть современного оборудования, ориентированного на работу по Wi-Fi, оснащается модулями 802.11g, и при этом готовится к выходу очередная спецификация - 802.11n. В ней обещают как минимум двукратное увеличение максимальной скорости по сравнению с 802.11a и 802.11g, а также введение совершенно новых технологий.

2 Перспективы роста трафика в ближайшее время

К 2019 г. на долю «умных» соединений будет приходиться 97 % мирового мобильного трафика.

По данным опубликованного ежегодного исследования Cisco под названием «Индекс развития визуальных сетевых технологий: глобальный прогноз по мобильному трафику на период 2014-2019 гг.» (Cisco VNI), ключевыми факторами существенного роста мобильного трафика станут увеличение числа все более мощных мобильных устройств и межмашинных соединений в сочетании с расширением доступа к высокоскоростным сотовым сетям. Если в 2014 году мировой мобильный трафик на 88 % состоял из «умного» трафика, обслуживающего продвинутые вычислительные и мультимедийные сервисы при минимальных объемах трафика 3G, то к 2019 году этот показатель может увеличиться до 97 %.

Тенденцию роста «умного» трафика поддерживают такие ключевые факторы, как наблюдающийся во всем мире переход от простых телефонов к смартфонам, возрождение ноутбуков, теперь обладающих возможностями планшетов, и увеличение числа межмашинных приложений. К 2017 г. мобильный трафик 3G обгонит технологии второго поколения и выйдет на первое место в мире среди технологий сотовой связи по доле соединений. К 2019 г. на сети 3G будет приходиться 44 % всех мобильных устройств и соединений, а на сети 4G — 26 % соединений, причем последние будут генерировать 68% трафика.

По содержащимся в Cisco VNI прогнозам, если в 2014 г. годовой объем мирового мобильного трафика составлял 30 эксабайт, то к 2019 году этот показатель достигнет 292 эксабайт. Для наглядности:

- это в 292 раза больше, чем весь фиксированный и мобильный IP-трафик, сгенерированный в 2000 г.;

- это эквивалентно передаче 65 триллионов изображений (мультимедийных сообщений, фото в Инстаграме), т.е. 23 изображений в день на каждого жителя Земли в течение года;

- это равнозначно просмотру 6 триллионов видеоклипов (например, на сервисе YouTube), т.е. больше 2 клипов в день на каждого жителя Земли в течение года.

2.1 Ключевые факторы глобального роста мобильного трафика

По прогнозам Cisco, с 2014 по 2019 гг. темпы роста глобального мобильного трафика будут втрое опережать темпы роста фиксированного трафика. Среди тенденций, определяющих рост мобильной передачи данных, можно назвать:

- рост числа мобильных пользователей. К 2019 г. их количество достигнет 5,2 миллиардов (в 2014 г. — 4,3 млрд). В 2014 г. почти 59 % мирового населения, составлявшего 7,2 млрд человек, пользовались

мобильной связью. К 2019 г. таких будет больше 69 % (при том, что население нашей планеты достигнет 7,6 млрд человек);

- рост числа мобильных подключений. К 2019 г. количество устройств и соединений, готовых к установлению мобильной связи, достигнет 11,5 млрд (8,3 млрд персональных мобильных устройств и 3,2 млрд межмашинных соединений), тогда как в 2014 г. этот показатель составлял 7,4 млрд;

- увеличение скорости мобильной передачи. К 2019 г. средняя скорость передачи в мобильных сетях мира вырастет в 2,4 раза и достигнет 4,0 Мбит/с (показатель 2014 г. — 1,7 Мбит/с);

- рост мобильной передачи видео. К 2019 г. мобильное видео будет составлять 72 % мирового мобильного трафика (показатель 2014 г. — 55 %).



Рисунок 2.1 – Прогноз изменений основных показателей

«Ключевыми факторами существенного роста мобильного трафика в ближайшие годы станут увеличение числа все более мощных мобильных устройств и межмашинных соединений в сочетании с расширением доступа к высокоскоростным сотовым сетям, — констатировал Дуг Уэбстер (Doug Webster), вице-президент компании Cisco по маркетингу продуктов и решений. — Эта мобильно-ориентированная среда станет для сервис-провайдеров новой областью вызовов и возможностей, где они смогут на основе инноваций предоставлять потребителям и бизнесу разнообразные мобильные сервисы, продолжая формирование Всеобъемлющего Интернета».

2.2 Влияние межмашинных соединений и носимых устройств

К межмашинным (M2M) относят приложения, обеспечивающие соединение беспроводных систем и устройств для поддержки функционирования глобальных спутниковых систем позиционирования и навигации (GPS), систем отслеживания активов, коммунальных счетчиков, систем обеспечения безопасности и видеонаблюдения. Для облегчения

прогнозирования роста Всеобъемлющего Интернета (Internet of Everything, IoE) носимые устройства включены в качестве подкатегории в раздел М2М-соединений.

Количество носимых устройств в мире к 2019 г. вырастет пятикратно и достигнет 578 миллионов (показатель 2014 г. — 109 млн). При этом большая их часть будет использоваться в Северной Америке и Азиатско-Тихоокеанском регионе.

В результате мобильный трафик, генерируемый носимыми устройствами, в период с 2014 по 2019 гг. может вырасти в 18 раз, при этом основная его доля будет передаваться посредством смартфонов.

В 2014 г. носимые устройства в среднем генерировали в 6 раз больше трафика, чем простые телефоны (на носимые устройства приходилось 141 МБайт мобильного трафика в месяц, тогда как на телефоны — 22 МБайт).

Примером устройств генерирующих большие объемы трафика, может служить видеочамера GoPro (передает в сеть сотовой связи видеопоток со скоростью около 5 Мбайт в минуту).

В 2014 г. модуль М2М в среднем ежемесячно генерировал в три раза больше трафика, чем простой телефон (модуль М2М — 70 МБайт мобильного трафика в месяц, телефон — 22 МБайт).

2.3 Рост использования технологий 4G

Чтобы удовлетворить оживленный спрос потребителей и бизнеса на беспроводные сервисы и контент, многие провайдеры начинают разворачивать технологии 4G. С их помощью сервис-провайдеры на многих развивающихся рынках создают новые мобильные инфраструктуры, а в ряде развитых регионов технологии 4G дополняют или заменяют унаследованные решения 2G и 3G.

К 2019 г. 26 % всех устройств и соединений в мире будут поддерживать 4G. К тому времени число соединений 4G вырастет в 18 раз и достигнет 3 млрд (показатель 2014 г. — 459 млн).

К 2017 мобильный трафик 3G обгонит технологии второго поколения и выйдет на первое место по доле соединений среди технологий сотовой связи.

В 2014 г. на 4G-соединения приходилось 40 % мобильной передачи данных. К 2019 г. их доля составит 68 %.

В 2014 каждое 4G-соединение генерировало в среднем 2,2 ГБайт мобильного трафика данных в месяц. К 2019 г. этот показатель достигнет 5,6 ГБайт, что в 5,4 раза превысит средний объем трафика, генерируемого соединением, не использующим технологии 4G. Трафик Wi-Fi-разгрузки превысит трафик сотовых сетей.

Термин «разгрузка» используется применительно к трафику, который генерируется двухрежимными устройствами, поддерживающими Wi-Fi и сотовую связь (за исключением ноутбуков), и проходит по сетям малых сот и Wi-Fi-сетям. Разгрузка выполняется пользователем или устройством при переходе с сотового соединения на доступ посредством сети малых сот или

Wi-Fi-сети.

В прогноз трафика разгрузки, приведенный в отчете Cisco VNI, включен трафик публичных точек доступа и сетей Wi-Fi жилого сектора.

В 2014 г. разгружалось 46 % совокупного трафика передачи данных мобильных сетей. К 2019 г. этот показатель достигнет 54 %.



Рисунок 2.2 – Динамика роста трафика

Без учета разгрузки годовой прирост глобального мобильного трафика передачи данных за период 2014—2019 гг. был бы значительно выше (65 % без разгрузки и 57 % — с разгрузкой).

Передача голоса поверх Wi-Fi (VoWi-Fi) обгонит передачу голоса поверх LTE (VoLTE)

С учетом роста объемов и стратегической роли Wi-Fi-технологий в мобильных сетях в исследование этого года был включен сравнительный анализ технологии VoWi-Fi и других мобильных сервисов передачи голоса. Технология VoWi-Fi не нова, но ее распространению среди пользователей мешали недостатки первых решений. Сейчас начали появляться решения VoWi-Fi операторского класса, которые позволяют использовать для передачи голоса устройства без SIM-карт, поддерживающие только Wi-Fi (например, планшеты). Технология VoWi-Fi обладает значительным потенциалом роста, который может реализоваться в ближайшие пять лет.

К 2017 г. трафик VoWi-Fi (10,8 ПБайт в год) превысит трафик VoLTE (10,7 ПБайт в год).

К 2018 г. трафик VoWi-Fi обгонит VoLTE по числу использованных минут в год.

К 2019 г. на трафик VoWi-Fi будет приходиться более половины (53%) всей мобильной IP-передачи голоса.

К 2019 г. число планшетов и ПК с поддержкой Wi-Fi (1,9 млрд) почти в 3,5 раза превысит число планшетов и ПК с поддержкой сотовой связи (542

млн).

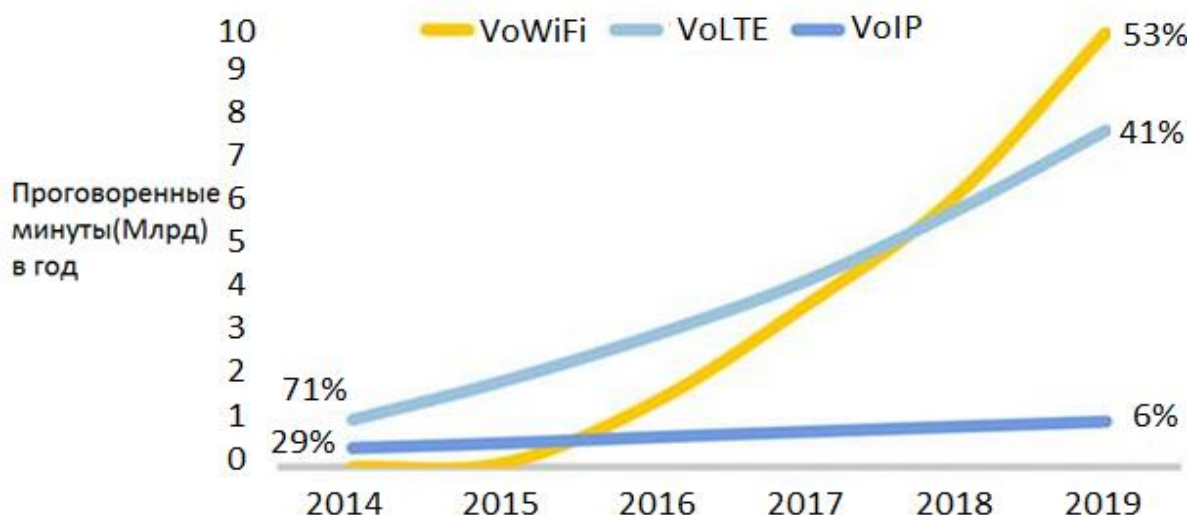


Рисунок 2.3 –Распределение трафика по технологиям

2.4 Рост мобильного облачного трафика

Такие облачные приложения и сервисы, как Netflix, YouTube, Pandora и Spotify, позволяют пользователям преодолеть ограничения своих мобильных устройств по памяти и вычислительной мощности.

Мобильный облачный трафик вырастет 11-кратно — с 2 эксабайт в месяц в 2014 г. до 21,8 эксабайт в месяц в 2019 г.

В 2014 г. на облачные приложения приходилось 81 % совокупного мобильного трафика данных. К 2019 г. этот показатель достигнет 90 %.

Ключевые прогнозы по регионам

В прогнозируемый период наибольшие темпы роста продемонстрируют Ближний Восток и Африка. Региональный прогноз по темпам роста к 2019 г.:

- Ближний Восток и Африка: среднегодовой прирост 72 %, рост в 15,3 раза;

- Центральная и Восточная Европа: среднегодовой прирост 71 %, рост в 14,4 раза;

- Азиатско-Тихоокеанский регион: среднегодовой прирост 58 %, рост в 9,7 раза;

- Латинская Америка: среднегодовой прирост 59 %, рост в 10,1 раза;

- Северная Америка: среднегодовой прирост 47 %, рост в 6,8 раза;

- Западная Европа: среднегодовой прирост 48 %, рост в 7,1 раза.

По общему объему мобильного трафика передачи данных на первое место выйдет Азиатско-Тихоокеанский регион. Ниже приводится региональный прогноз по объемам трафика к 2019 г. [19]:

- Азиатско-Тихоокеанский регион: 9,5 эксабайт в месяц;

- Северная Америка: 3,8 эксабайт в месяц;

- Западная Европа: 2,4 эксабайт в месяц;

- Центральная и Восточная Европа: 3,5 эксабайт в месяц;

- Ближний Восток и Африка: 3,0 эксабайт в месяц;
- Латинская Америка: 2,0 эксабайт в месяц.

2.5 Глобальный трафик в мобильных сетях

График, рисунок 2.4, демонстрирует ежемесячный объем трафика данных и голосового сегмента. Он отражает стабильный тренд роста дата-трафика, а также почти полную стагнацию роста голосового трафика. Количество мобильных абонентов стремительно растет, и стимулирует рост дата-трафика, вкуче с продолжающимся ростом среднего объема данных на абонента. Мобильные телефоны все чаще становятся инструментами для доступа к сервисам, для которых раньше требовался компьютер. На развитых мобильных рынках голосовые звонки и SMS уже не являются доминирующими сервисами, особенно для пользователей смартфонов, большинство которых ежедневно пользуется сервисами, основанными на данных. С четвертого квартала 2013 года по первый квартал 2014 года объем дата-трафика вырос на 15 %.

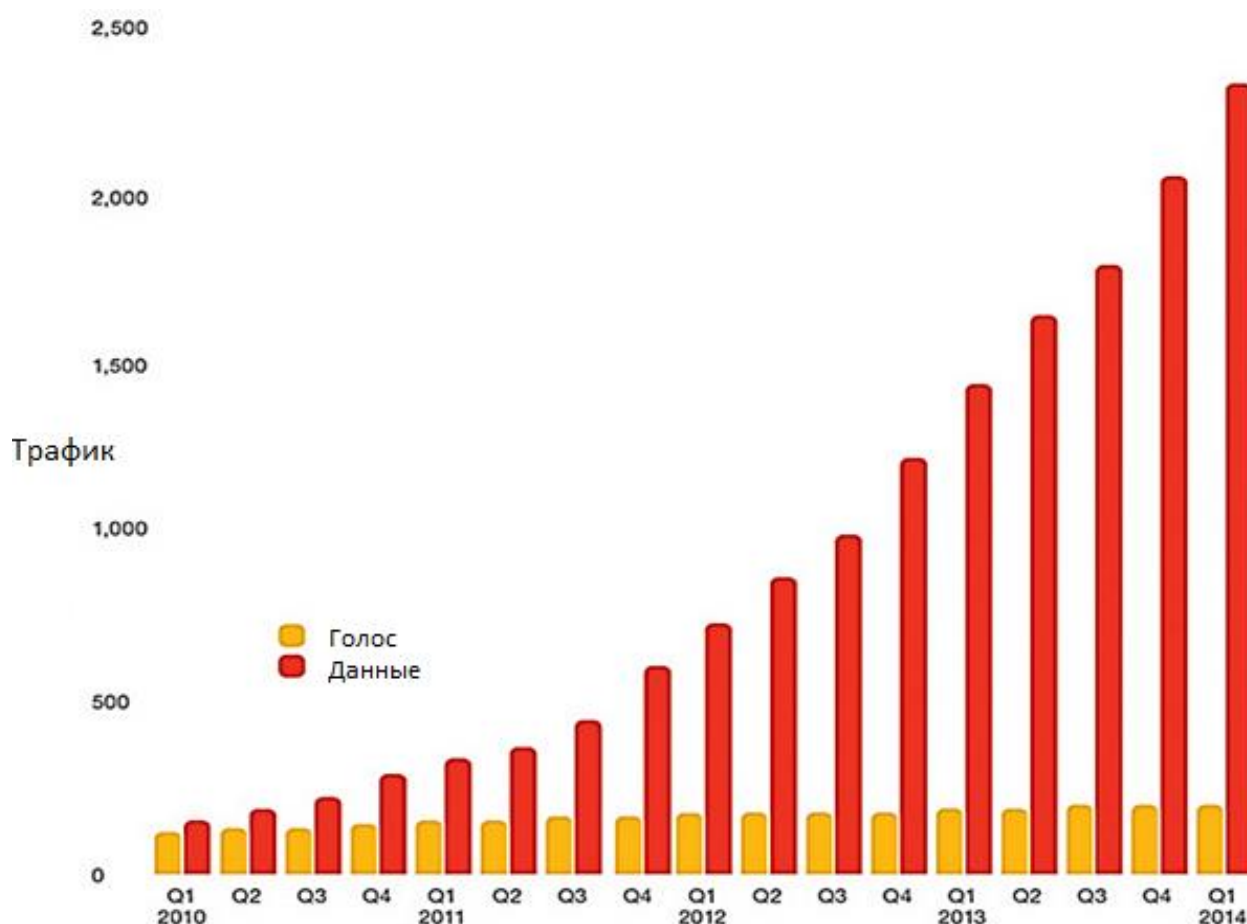


Рисунок 2.4 –Ежемесячное изменение голосового и дата трафика

Следует отметить, что существуют крупные различия между объемами трафика на разных рынках, в разных регионах и у разных операторов. Эти измерения были произведены Ericsson в течение нескольких лет с помощью

обширной базы коммерческих сетей, которые покрывают все регионы мира. Они составили представительную базу для вычисления всего мирового трафика в мобильных сетях.

2.6 Мобильный дата-трафик: прогноз развития

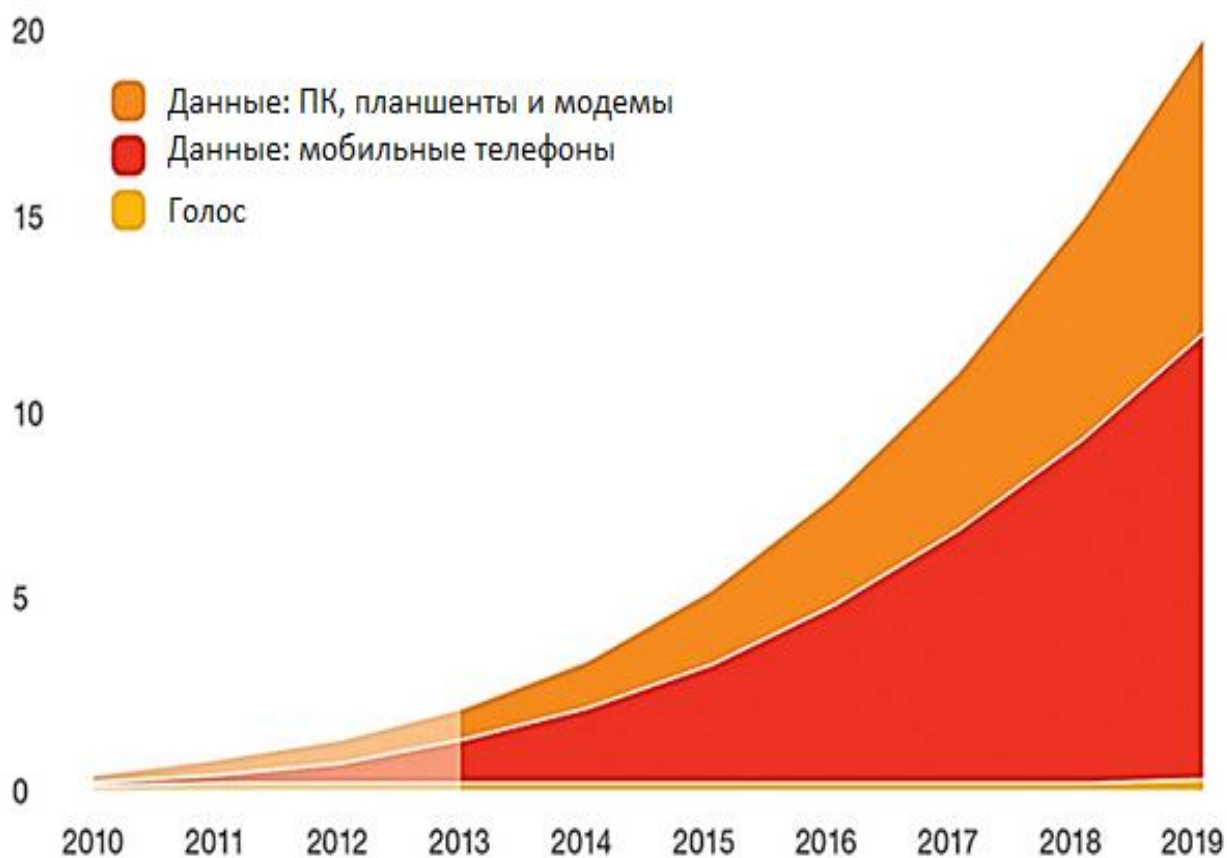


Рисунок 2.5 – Прогноз роста мобильного дата трафика

Ожидается, что совокупный среднегодовой темп роста мобильного дата-трафика составит около 45 % (2013-2019). Таким образом, к 2019 году объем мобильного дата-трафика вырастет в 10 раз. Главным драйвером такого роста является растущее число пользователей смартфонов. Те из них, которые потребляют больший объем трафика – в основном за счет просмотра видео – также способствуют этому росту. Итоговый мобильный трафик, генерированный мобильными телефонными, превысил трафик мобильных ПК, планшетов и мобильных роутеров. В основном мобильный трафик генерируется смартфонами. К 2019 году число пользователей смартфонов утроится, что также стимулирует рост объема трафика. Итоговый ежемесячный трафик, генерируемый смартфонами, вырастет в 10 раз за период между 2013 и 2019 годами.

Прогнозируемые данные коррелируют со статистическими данными реального оператора. Это было подтверждено после проведенного анализа данных в период с 2012 года по 2015 год на сети одного из операторов РК. Оценке подлежали индикаторы трафика сети GSM и UMTS. Данные получены

с использованием программы PRS (Performance Report System) компании Huawei.

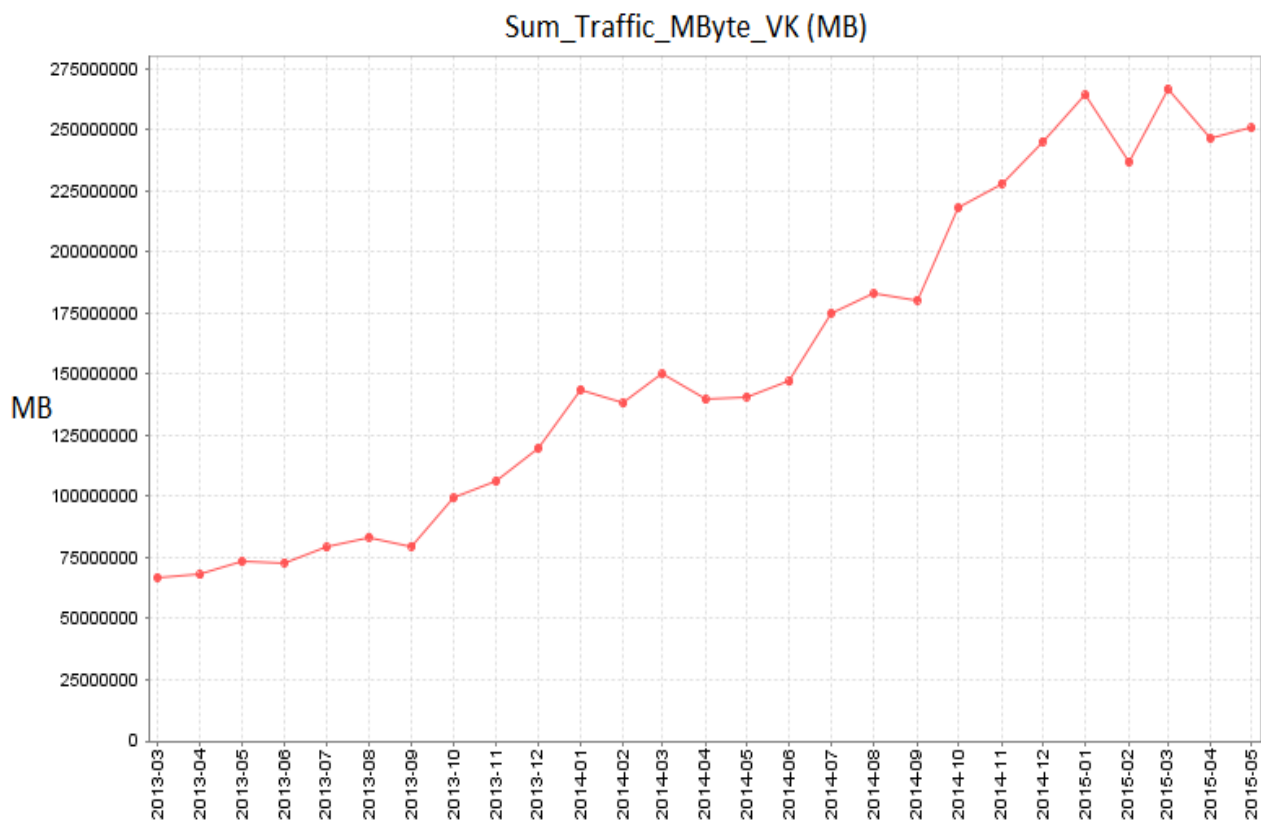


Рисунок 2.6 – Динамика роста трафика на GSM сети реального оператора

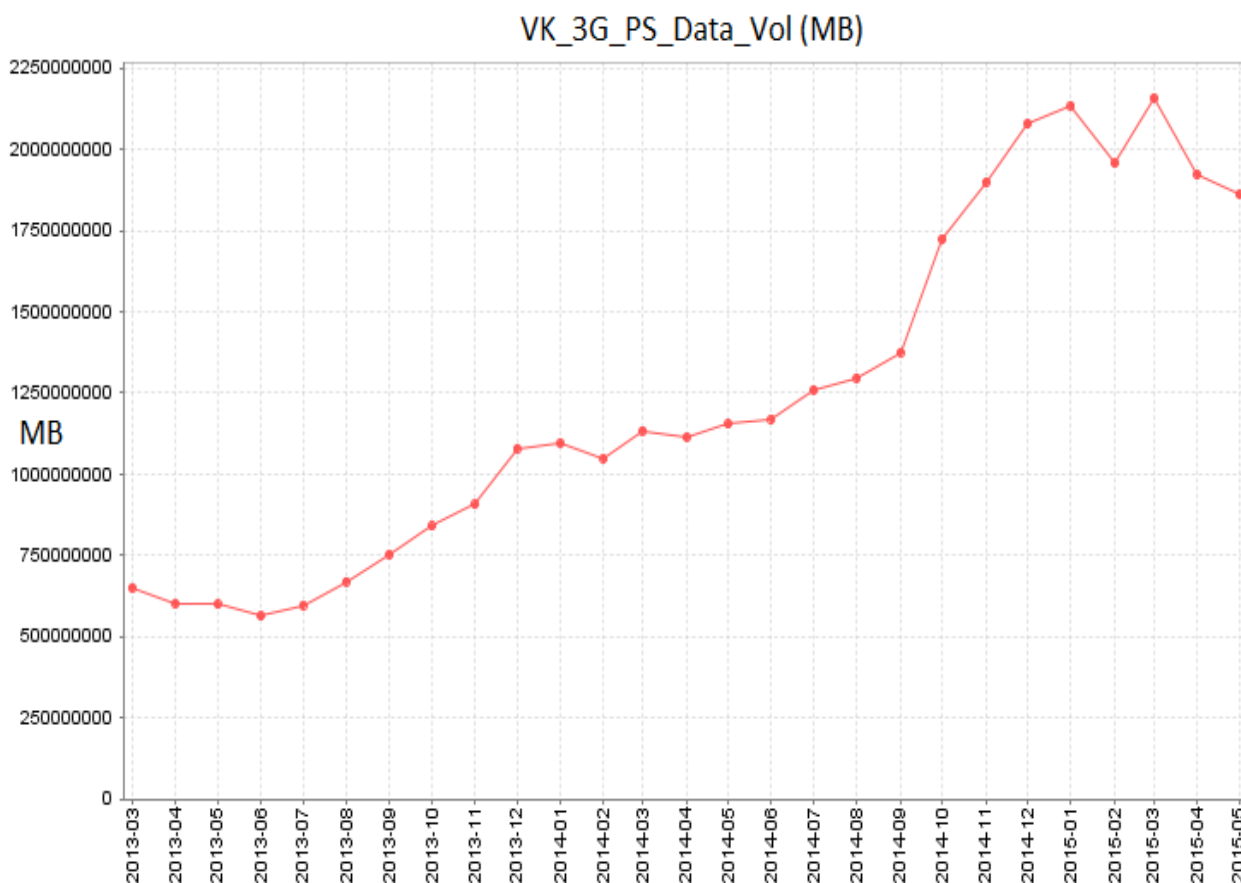


Рисунок 2.7 – Динамика роста трафика на сети UMTS реального оператора

Из графика виден рост мобильного дата трафика в сети GSM за весь период наблюдения. В апреле, мае 2015 года среднемесячные значения трафика лежат в диапазоне 250 терабайт в месяц.

Аналогичная тенденция наблюдается и на сети 3G, объем передаваемых данных растет с начала наблюдения и на текущий момент достиг значений 2 Петабайт.

В тоже время голосовой трафик достиг своего максимума и длительное время находится на установившемся уровне, а в ближайшем будущем согласно прогнозам будет только уменьшаться. Этому будет способствовать запуск голосового сервиса приложением Whatsapp, а также использование технологии VoLTE (голос в LTE). Наибольший спад зафиксирован в предоставлении сервиса SMS, который за последние годы уменьшился в разы. Причины кроются в стремительной популяризации социальных сетей, а также наличием большого парка сервисов мгновенных сообщений.

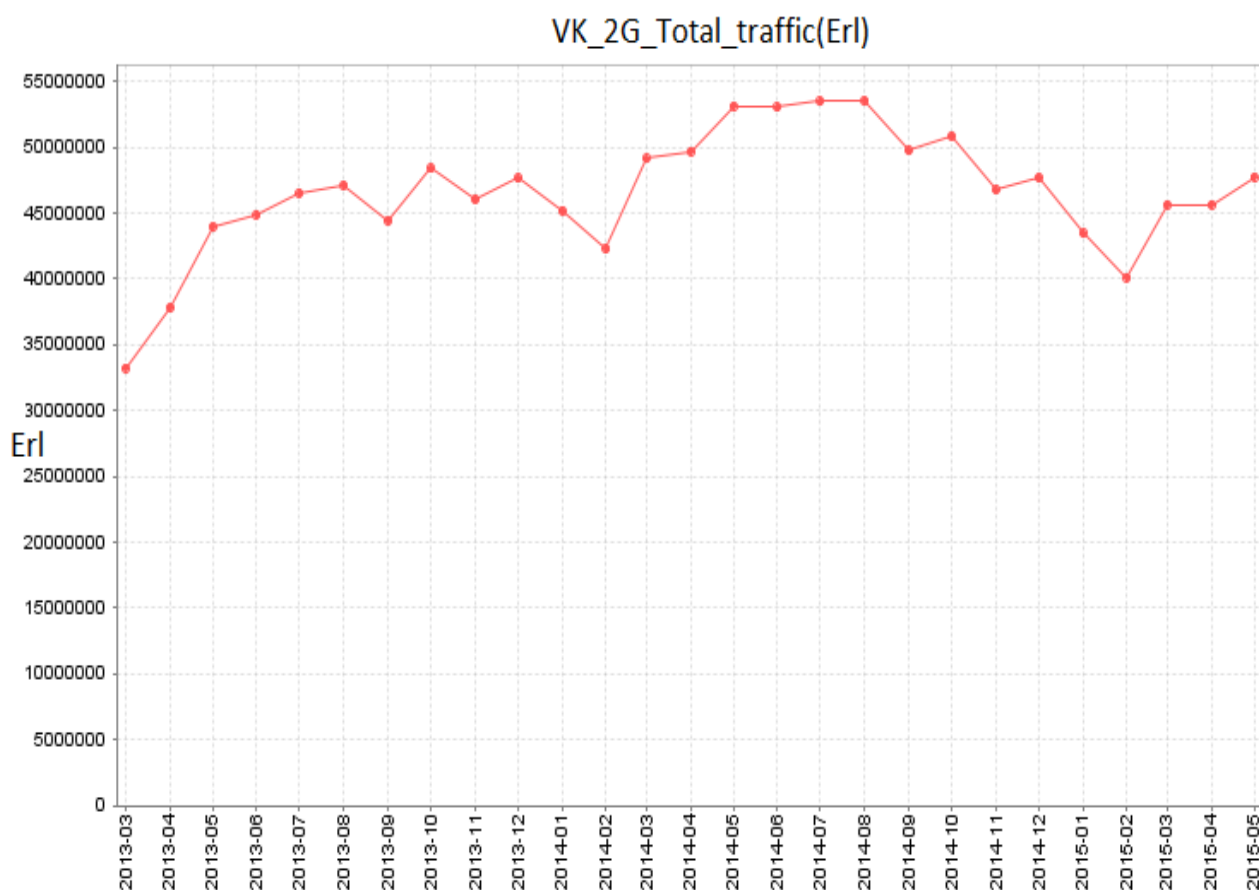


Рисунок 2.8 – Динамика изменения голосового трафика

За указанный период мобильный дата-трафик будет расти заметно быстрее, чем фиксированный дата-трафик – совокупный среднегодовой темп роста последнего составит около 25 % между 2013 и 2019 годами. Однако в общем объеме трафика фиксированный трафик будет доминировать. Мобильный дата-трафик составил 5 % всего трафика в 2013 году, ожидается, что в 2019 году его доля составит 12 %.

Следует отметить, что существуют различия в поведении пользователей между разными сетями, рынками и типами пользователей. Значительная часть дата-трафика генерируется ограниченным числом пользователей. Такие факторы, как ограничение объема трафика операторами, тарифные планы, а также размер и разрешение экрана на устройстве пользователя влияют на объем трафика, потребляемый клиентом.

Объем трафика смартфонов вырастет в 10 раз между 2013 и 2019 годами.



Рисунок 2.9 –Количественные показатели проникновения смартфонов

2.7 Состояние сетей. Мировое покрытие по сетям

С созданием все большего количества базовых станций, степень покрытия населения мобильными сетями мира постоянно увеличивается. Технология GSM/EDGE наиболее распространена, она покрывает 85 % мирового населения. Однако в странах, использующих GSM/EDGE, до сих пор существуют малонаселенные территории, не покрытые этой сетью.

К концу 2013 года WCDMA/HSPA покрывала примерно 60 % мирового населения. Это – на 10 % больше, чем в 2012 году. Дальнейшее расширение WCDMA/HSPA будет стимулироваться растущим спросом на доступ к Интернету, доступностью смартфонов и законодательными требованиями по подключению тех, у кого еще нет доступа. К концу 2019 года у около 90 % мирового населения будет возможность доступа к Интернету с помощью сетей WCDMA/HSPA.

Сети LTE покрывали около 20 % мирового населения к концу 2013 года. По сравнению с 2012 годом покрытие удвоилось. К 2019 году покрытие сетями LTE составит более 65 %.

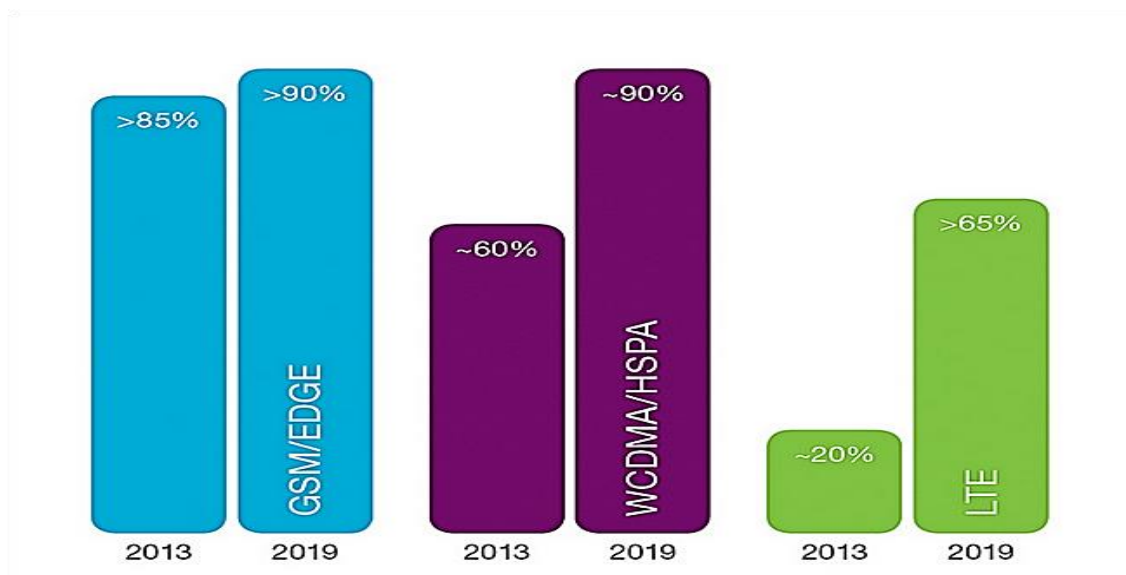


Рисунок 2.10 –Мировое покрытие различных технологий

2.7.1 LTE Advanced (LTE-A). Агрегация несущих частот LTE-A становится все более важной для операторов. Вслед за несколькими операторами в Южной Корее и Австралии, запустившими LTE-A в 2013 году, шаги по запуску такой сети были сделаны в Центральной Азии. Первоначальной целью в 2013 году была агрегация частот от 2x10 МГц до одной полосы диапазоном в 20 МГц, что позволило нарастить скорость скачивания 150 Мбит/с. Теперь операторы стремятся к скорости в 300 Мбит/с.

2.7.2 LTE Broadcast. LTE Broadcast станет ответом на растущий спрос потребителей на видео –сервисы, эффективно предоставляя видео-контент с гарантированным уровнем качества. LTE Broadcast достигает такой эффективности посредством одновременного предоставления медиаконтента нескольким пользователям через один поток LTEданных, нежели через один поток на каждого пользователя. LTEBroadcast также позволяет оператору задать скорость потока, удовлетворяющего требованиям для различных типов контента, то есть предопределить уровень качества контента (например, настроить разрешение изображения).

В общественных местах, например, на стадионах, плотность абонентов может достигать крайне высокого уровня, и трансляция контента станет действенным способом предоставления пользователю надежной и стабильной связи. LTE Broadcast уже запущен в Корее, тесты были успешно проведены в Соединенных Штатах, Австралии, Германии, и Нидерландах.

2.7.3 Mobile HD voice. HD voice улучшает качество голосовых звонков, предоставляя более естественный звук, лучшую внятность и распознаваемость голоса, а также дополнительную ликвидацию шума в устройстве.

Использование HD voice требует высокой функциональности и пропускной способности сети, и может быть использовано в сетях GSM, CDMA, WCDMA и LTE.

Впервые этот сервис был использован в сентябре 2009 года. Сейчас HD

voice запущен 100 операторами в 71 стране. Большинство этих запусков произошло в сетях WCDMA, и несколько в сетях GSM и LTE (VoLTE). В течение только 2013 года 29 новых операторов запустили HD voice, и на нескольких рынках устанавливается оперативная совместимость этого сервиса между операторами.

Новые запуски подчеркивают, как важно для операторов улучшить качество голосовых сервисов. Увеличению количества запусков послужило растущее количество телефонов, совместимых с технологией HD voice. В настоящее время существует, по меньшей мере, 329 таких устройств.

2.7.4 Voice over LTE (VoLTE). VoLTE предоставляет пользователям высокое качество голосовой и видео связи, а также расширенные мультимедийные услуги, и все это при одновременном использовании дата-сервисов LTE. VoLTE позволяет передавать более широкий диапазон частот в аудиоспектре, что улучшит качество голосового звонка, и быстрее передает звонок: с момента подачи заявки на вызов абонента до момента звонка у адресат проходит всего 0,25 секунды, по сравнению с 5 секундами в 3G. Для этого сервиса требуются смартфоны, поддерживающие LTE. Первые коммерческие сети VoLTE были запущены в августе 2012 года. В данный момент действуют три такие сети в Южной Корее, с миллионами потребителей, использующих HD voice на разных моделях смартфонов от разных производителей. В 2014 году еще несколько операторов, преимущественно в Азии и Северной Америке, планируют запустить технологию VoLTE.

2.8 Трансформация M2M (межмашинного воздействия)

Межмашинная коммуникация развивается благодаря снижающейся стоимости, улучшенному покрытию, лучшим радиотехнологиям, законодательной деятельности и растущему объему успешного применения устройств M2M.

В конце 2013 года в активном использовании находилось 200 млн мобильных устройств M2M, и это количество к 2019 году вырастет в 3-4 раза. Средняя доля устройств M2M в объеме трафика среди измеренных Ericsson сетей составляет около 2 %, однако она может вырасти до 20% у операторов, делающих акцент на межмашинное взаимодействие.

Следует внимательно изучить характеристики устройств M2M, чтобы лучше понять их влияние на сети. Обеспечение дешевой и эффективной передачи данных между сетями – это ключевой интерес формирующихся в мире международных роуминговых M2M альянсов. В устройствах по роумингу данных доля трафика M2M намного выше – около 15 % - что можно объяснить роуминговым трафиком M2M, затрачиваемым на отслеживание автомобилей и систему контроля транспортных средств.

В отличие от других типов устройств, большинство устройств M2M пока работают только в GSM (GSM-only). В данный момент в Северной Америке почти все устройства поддерживают 3G или 4G, а единственные,

работающие в 2G – это устройства M2M. Через 2-3 года такая же ситуация будет в Западной Европе. Одна из причин этому – наиболее дешевые модули M2M работают в GSM, что, в свою очередь, обходится дешевле для абонентов. Вторая причина: многие M2M не требуют высоких скоростей. И третья: M2M часто отличаются долгими жизненными циклами. Умный счетчик, например, может работать до 20 лет, в то время как смартфоны обычно меняют каждые 2-3 года. Учитывая такую долгую жизнь устройств M2M, инвестиции в новейшие радиотехнологии могут обеспечить будущую потребность в таких устройствах.

График (рисунок 2.11) показывает, что глобально около 64 % устройств M2M работают только в GSM. Эти данные основаны на подсчете всех типов устройств, потребляющих данные, за последний год по всему миру. Устройства M2M, работающие в 2G, 3G или 4G, также включены в анализ.

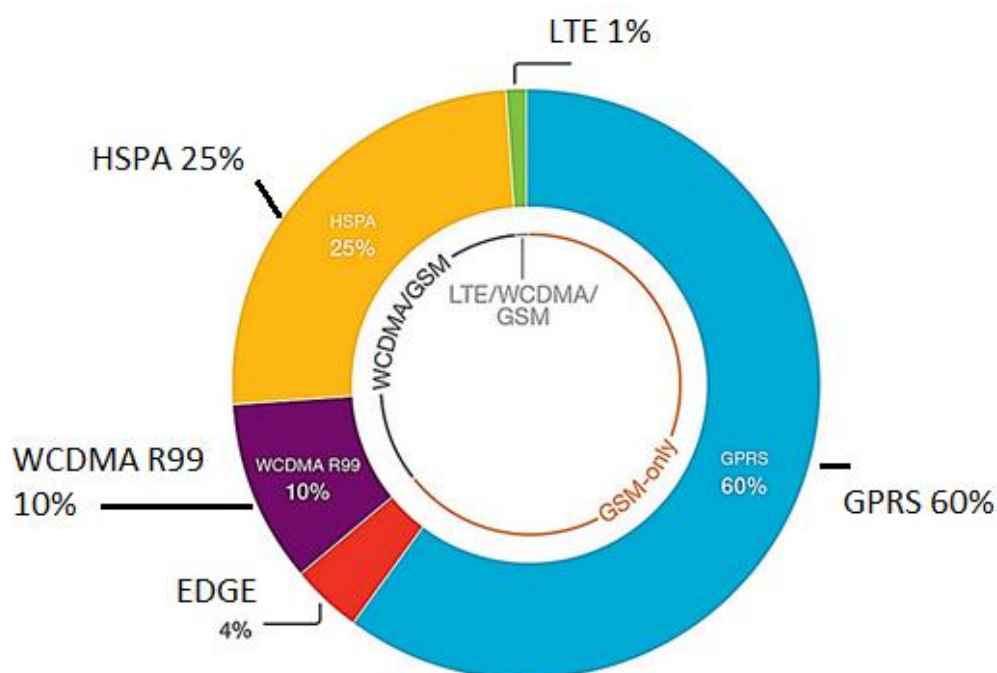


Рисунок 2.11 – Распределение использований различных технологий

2.9 Распределение устройств M2M по сетям

Несмотря на то, что количество устройств M2M, работающих в GSM-сетях, в целом увеличится, их доля в этой сети уменьшится до около 30 % в 2019 году. В 2016 году ожидается, что 3G/4G будут доминирующими сетями для всех устройств M2M. Доля устройств, работающих в LTE, подскочит с 1 % сегодня до более 20% в 2019 году, и в том же году будет отвечать за более чем 40 % передачи данных. На данный момент межмашинное воздействие в байтах составляет всего 0.1% общего мобильного трафика. Эта доля будет увеличиваться по мере того, как устройства LTE M2M и более сильные процессоры будут включаться в такие устройства, как бытовая техника, автомобили и билборды.

3 Методы разгрузки опорной сети

3.1 WiFi offload

Стандарты 3GPP (The Third-Generation Partnership Project) разделяют два типа WiFi-доступа, также известного как не-3GPP IP-доступ:

- недоверенный доступ стандарта WiFi;
- доверенный доступ стандарта WiFi.

Недоверенный доступ был введен на ранних стадиях работы над спецификациями Wi-Fi в 3GPP Release 6 (2005 год). Данный тип доступа включает любой тип доступа/устройства Wi-Fi, который не контролируется оператором (публичный открытый хотспот, домашний Wi-Fi маршрутизатор абонента и тп) или варианты с недостаточным уровнем безопасности (аутентификации, шифрования и тп).

Доверенный доступ относится к сетям стандарта Wi-Fi, которые построены самим оператором с обязательным шифрованием радиоканала и использованием сильных методов аутентификации. Данный типа не - 3GPP IP-доступ был введен начиная с выхода LTE в 3GPP Release 8 (2008 год). Хотя большинство современных дизайнов WiFi оффлоада основаны на доверенной модели, 3GPP в настоящее время не предлагает рекомендаций по интеграции с пакетным ядром 3G и 2G сетей. Однако, как будет представлено в документе, такой тип доступа интегрирован в пакетное ядро сети LTE EPC (Evolved Packet Core).

Большинство сегодняшних мобильных сетей основаны на 3G и существенная часть данного документа описывает возможные методы интеграции доверенных не-3GPP IP-сетей доступа в мобильное пакетное ядро 3G (MPC/Mobile Packet Core) вместе с необходимыми архитектурными компонентами полисинга и тарификации (PCC/Policy & Charging Control). Хотя термин "доверенный не-3GPP IP-доступ" определен только для LTE EPC, данный документ расширяет это определение с учетом 3G контекста для того, чтобы описать WiFi-сети, контролируемые мобильными операторами.

Документ 3GPP 24.302 имеет следующее определение: "Для доверенной не-3GPP сети IP-доступа коммуникации между оборудованием пользователя и пакетным ядром сети EPC являются безопасными". Это определение дается с учетом применения современной SP Wi-Fi архитектуры, использующей EAP (Extensible Authentication Protocol) и IEEE 802.1x аутентификацию, а также шифрование радиоканала с помощью IEEE 802.11i и опционального использования DTLS (Datagram Transport Layer Security) для обеспечения безопасности каналов обмена контрольной информацией и пользовательских данных. Все описанные компоненты существуют в решениях SP Wi-Fi, и с их использованием такие сети могут рассматриваться, как доверенные не-3GPP.

Данный документ сначала рассматривает 3GPP дизайны, а затем описывает эволюцию таких архитектур к интеграции в EPC, как определено в 3GPP-стандартах.

В спецификациях 3GPP сеть Wi-Fi рассматривается только как сеть

WiFi-доступа. Никаких деталей о структуре сети Wi-Fi не специфицируется. Данный документ разделяет сеть Wi-Fi на компоненты доступа и шлюза. Сеть Wi-Fi для оффлоада мобильных данных состоит из трех частей: 1) сеть радиодоступа WiFi-стандарта (Wi-Fi RAN); 2) шлюз доступа Wi-Fi (WAG/WiFi Access Gateway) и необходимые вспомогательные системы (документ также расширяет определение 3GPP TS 23.234 для введения не-3GPP WAG); 3) элементы интеграции в пакетное ядро мобильной сети.

На рисунке 3.1 показана интеграция как элементов 3G, так и LTE, чтобы продемонстрировать общую картину всех сценариев, представленных в данной работе.

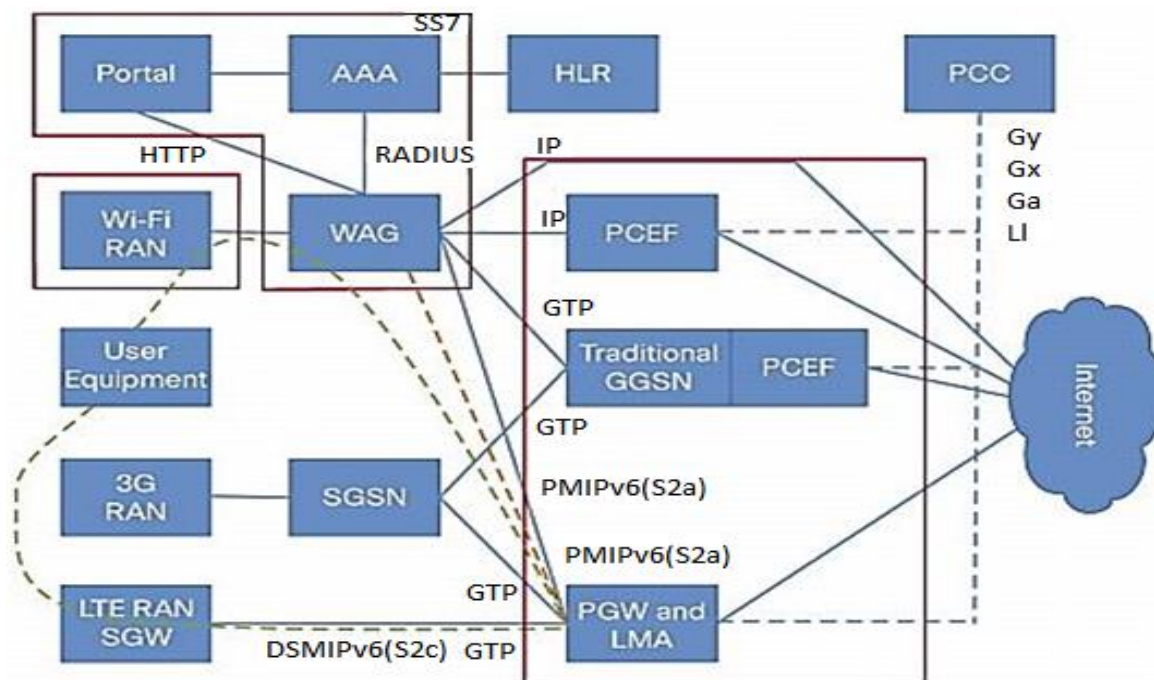


Рисунок 3.1 - Интеграция сети Wi-Fi

Если сеть Wi-Fi используется для оффлоада трафика мобильных данных, то необходимо решить следующие задачи:

- а) аутентификация: чтобы гарантировать, что только авторизованные пользователи могут получить доступ к сети;
- б) PCC: для обеспечения корректной биллингаии, качества обслуживания (QoS) и применения политик к трафику, который генерируется в сети доступа Wi-Fi. В идеале это должно полностью соответствовать 3GPP PCC;
- в) непрерывность IP-сессии: для обеспечения бесперебойности предоставления услуг при движении между различными сетями доступа (3G>Wi-Fi, Wi-Fi>3G, между точками доступа внутри сети Wi-Fi).

3.1.1 Аутентификация. Для контроля доступа пользователей к сети стандарта Wi-Fi может быть использовано множество методов аутентификации. Выбор метода аутентификации является критичным для

удобства использования в сети (и для обеспечения необходимого уровня безопасности, прим. Wi-Life.ru). Чем проще и прозрачнее метод аутентификации для конечного пользователя, тем больше вероятность того, что пользователь присоединится к сети.

Метод аутентификации также определяет пользователя и тип пользовательского устройства, которые могут быть использованы в конкретной сети (пользователи с SIM-картой или без таковой, собственные абоненты мобильного оператора, пользователи-гости в данной сети и тп).

В обычной современной сети Wi-Fi доступны в среднем два типа аутентификации, чтобы обеспечить возможность доступа всех возможных потенциальных пользователей с необходимым уровнем удобства при доступе для частых пользователей услуги Wi-Fi. Первый метод- это аутентификация через веб-портал, что дает возможность доступа для пользователей, не имеющих постоянного контракта с оператором (ваучеры, доступ с ограничением по времени, платеж через SMS и тп). Второй типовой метод- это аутентификация с помощью EAP, которая обеспечивает прозрачный доступ к услуге и простой доступ для собственных абонентов мобильного оператора с SIM-картами или сертификатами.

3.1.2 Аутентификация через Веб-портал. Веб-аутентификация построена на взаимодействии третьего уровня (L3 OSI/ISO) с сетью и использует HTTP до того, как разрешить доступ пользователю. WISPr стандарт (Wireless Internet Service Provider) также использует HTTP-коммуникации с веб-порталом для автоматической аутентификации с пользовательским устройством без какого-либо вовлечения пользователя, рисунок 3.2.

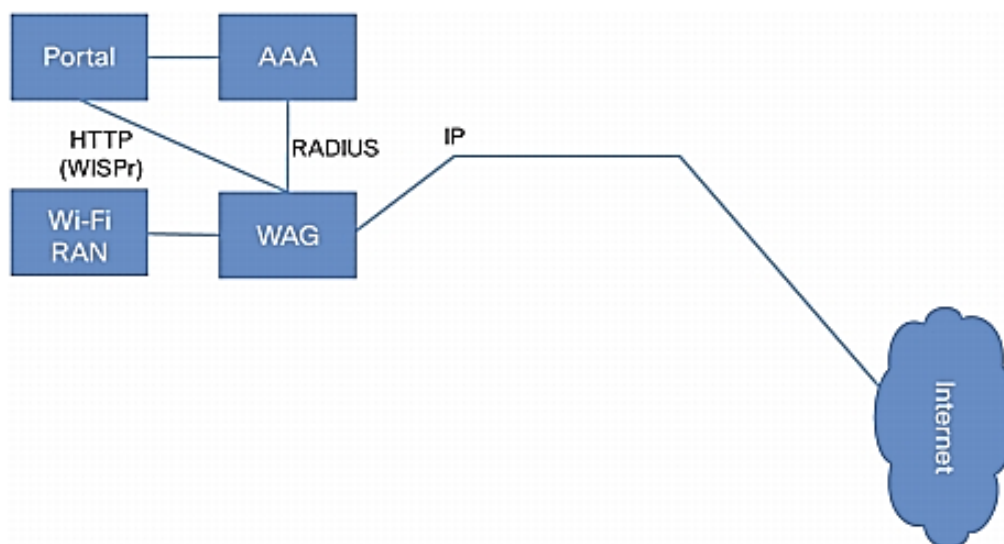


Рисунок 3.2 - Архитектура аутентификации с помощью веб-портала

Данный метод использует WAG в сети Wi-Fi, который блокирует все IP-коммуникации для неизвестных (новых) пользователей и перенаправляет все HTTP-сессии на перехватывающий веб-портал. Перехватывающий веб-портал отвечает за запрос уникальной информации по доступу у пользователя

(логин/пароль и тп) и инициирует фазы аутентификации, авторизации и аккаунтинга (AAA) для аутентификации пользователя. После успешного логина WAG извещается об этом AAA-сервером. С этого момента пользователь известен и находится в AAA-кэше, и WAG разрешает этому пользователю отправлять и получать данные. Обычно IEEE 802.11 MAC-адрес пользователя (например, MAC смартфона пользователя) также закеширован на AAA-сервере вместе с данными пользовательской аутентификации и разрешенного сервисного профиля пользователя. Если пользователь покидает зону покрытия Wi-Fi и затем возвращается, пользовательское устройство будет распознано шлюзом WAG по MAC-адресу и автоматически аутентифицировано по закешированной записи на AAA. Поэтому пользователю не надо постоянно заходить на веб-портал и повторно выполнять аутентификацию после потери сети Wi-Fi. Этот метод кеширования MAC-адреса также называется TAL (Transparent Automatic Logon), WAG присоединяется на втором уровне.

Устройства с SIM-картой используют данные SIM для информационного обмена внутри сообщений EAP, и эта информация проксируется AAA-сервером к домашнему HLR (Home Location Register) мобильного оператора пользователя для фактической аутентификации. В таком случае используются методы EAP-SIM (RFC 4186) и EAP-AKA (RFC 4187) для encapsуляции данных в зависимости от типа SIM-карты и возможностей HLR. Очевидно, такой подход требует обеспечения соединения между AAA-сервером и HLR или HSS (Home Subscriber Server), рисунок 3.3.

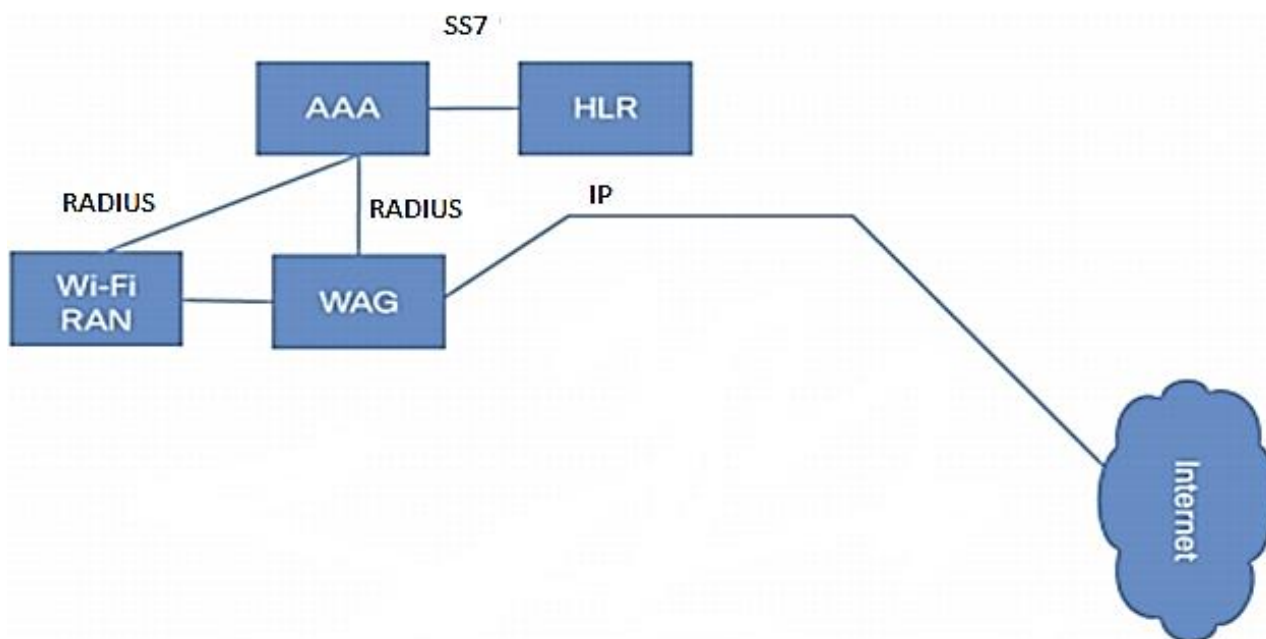


Рисунок 3.3 - Архитектура EAP-аутентификации

Для пользователей с устройствами без SIM-карты оператор может использовать специальные сертификаты для EAP-TLS (Transport Layer Security) или для иных схожих методов.

Последовательность шагов при EAP-аутентификации (с интегрированным HLR). Помните, что аутентификация на основе EAP дает значительные преимущества в части безопасности радиоканала. В данном случае аутентификация выполняется на втором уровне и сообщения EAP могут использоваться для согласования ключей шифрования радиопередачи по стандарту 802.11i. Такой подход обеспечивает более высокий уровень безопасности беспроводных коммуникаций в сравнении с незашифрованным радиообменом в случае аутентификации через веб-портал, а также обеспечивает предотвращение простых атак по спуфингу MAC-адресов.

3.2 Хотспот стандарта WiFi следующего поколения (Hotspot 2.0)

В 2010 году Cisco и другие лидеры индустрии сформировали специальную группу по разработке стандартов для Хотспотов следующего поколения (Next Generation Hotspot Task Group) в организации WBA (Wireless Broadband Alliance). Целью стало направить индустрию по пути создания общей группы стандартов, названных Hotspot 2.0, и которые смогли бы обеспечить пользователю опыт, схожий с использованием сетей 3G, а также сформировать модель межсетевое WiFi-роуминга. Результатом работы данной группы стали рекомендации операторам связи и программа сертификации Passpoint (Wi-Fi Certified Passpoint), стартовавшая летом 2012 года в WiFi Alliance. Эта программа сертификации как сетевого, так и пользовательского Wi-Fi оборудования, сможет гарантировать интероперабельность по аутентификации и роумингу для операторов и производителей оборудования.

SP Wi-Fi решение от Cisco с функционалом NG Hotspot дает возможность операторам лучше управлять и монетизировать их WiFi-сети операторского класса.

Можно выделить три основных составляющих архитектуры сети для Хотспотов стандарта WiFi следующего поколения:

- IEEE 802.11u;
- Wi-Fi Protected Access 2 (WPA 2) Enterprise;
- EAP-аутентификация.

3.2.1 Краткое резюме по аутентификации в сетях WiFi. Учитывая дополняющие возможности обоих описанных методов аутентификации, мобильные операторы, которые разворачивают сети доступа стандарта Wi-Fi, обычно используют как EAP и 802.1x аутентификацию, так и аутентификацию через веб-портал в своих сетях.

Аутентификация через веб-портал используется для привлечения гостевых пользователей по отношению к данной сети и тех, которые не имеют отношений с данным оператором связи. Такая схема дает возможность использования обычных распространенных приложений, как, например, платежи с помощью пластиковых карт, ваучеры и смс-пароли. Это приносит дополнительный доход от Wi-Fi сетей.

ЕАР-аутентификация в основном нацелена на устройства с SIM-картой оператора. Данная модель обеспечивает прозрачную аутентификацию и безопасные коммуникации без больших усилий со стороны пользователя (только в первый раз необходимо выбрать или настроить идентификатор правильной сети WiFi-стандарта и далее данный профиль будет использоваться устройством автоматически). В реальной жизни использование ЕАР-SIM и ЕАР-АКА методов ведет к значительно более высокому уровню использования сети Wi-Fi пользователями и таким образом обеспечивает значительно более высокие уровни экономии на выводе трафика данных из мобильной сети в Wi-Fi (оффлоад) для мобильного оператора.

С появлением пользовательских устройств, сертифицированных по Passpoint, операторы смогут упростить доступ в сеть Wi-Fi еще более значительно. Устройствам с поддержкой стандарта IEEE 802.11u не нужны никакие воздействия со стороны пользователя для присоединения к сети Wi-Fi (в отличие от обычных устройств, где необходимо выбирать SSID и тп). Межоператорские роуминговые соглашения на базе рекомендаций NG Hotspot (WRIX/WLAN Roaming Inter-Exchange)) дают возможность устройству с 802.11u выбрать правильный SSID автоматически, даже если пользователь находится в чужой сети (но имеющей роуминговое соглашение с домашним оператором пользователя и также поддерживающей 802.11u, прим. Wi-Life.ru).

3.3 Выделенный элемент PCEF

В сценарии использования выделенного PCEF (Policy and Charging Enforcement Function) шлюз WAG настраивается для отправки пользовательского трафика данных к PCEF для интеграции с PCC. В то же время трафику, который не требует контроля по политикам (трафик гостей пользователей, трафик в схеме перепродажи, трафик пользователей с одноразовыми ваучерами и т.п.), может предоставляться прямой маршрут в Интернет, рисунок 3.4.

Учитывая, что для PCEF необходимо уметь находить соответствие между идентификатором пользователя и соответствующим потоком данных, проходящим через PCEF, то возникает требование наличия механизма, который бы синхронизировал идентификатора пользователя с IP-адресом подписчика (так, чтобы отдельные пакеты данных могли быть ассоциированы с конкретным потоком данных пользователя и могли обрабатываться в соответствии с этим). Обычно функция проксирования RADIUS-сообщений используется на PCEF для создания информационной базы пользовательских сессий, основываясь на атрибутах, включенных в сообщения аккаунтинга, приходящие от шлюза доступа по конкретному пользователю.

Если используется данная модель, то необходимо гарантировать оператору, что вся обязательная информация, необходимая для PCEF, включена в RADIUS-сообщения от шлюза доступа или проксируется через

AAA-сервер, где уже необходимые атрибуты добавляются в сообщение. В дополнение к IP-адресу пользовательской сессии обычно требуются:

- IMSI (International Mobile Subscriber Identity);
- MSISDN (Mobile Station International Subscriber Directory Number);
- APN (Access Point Name).

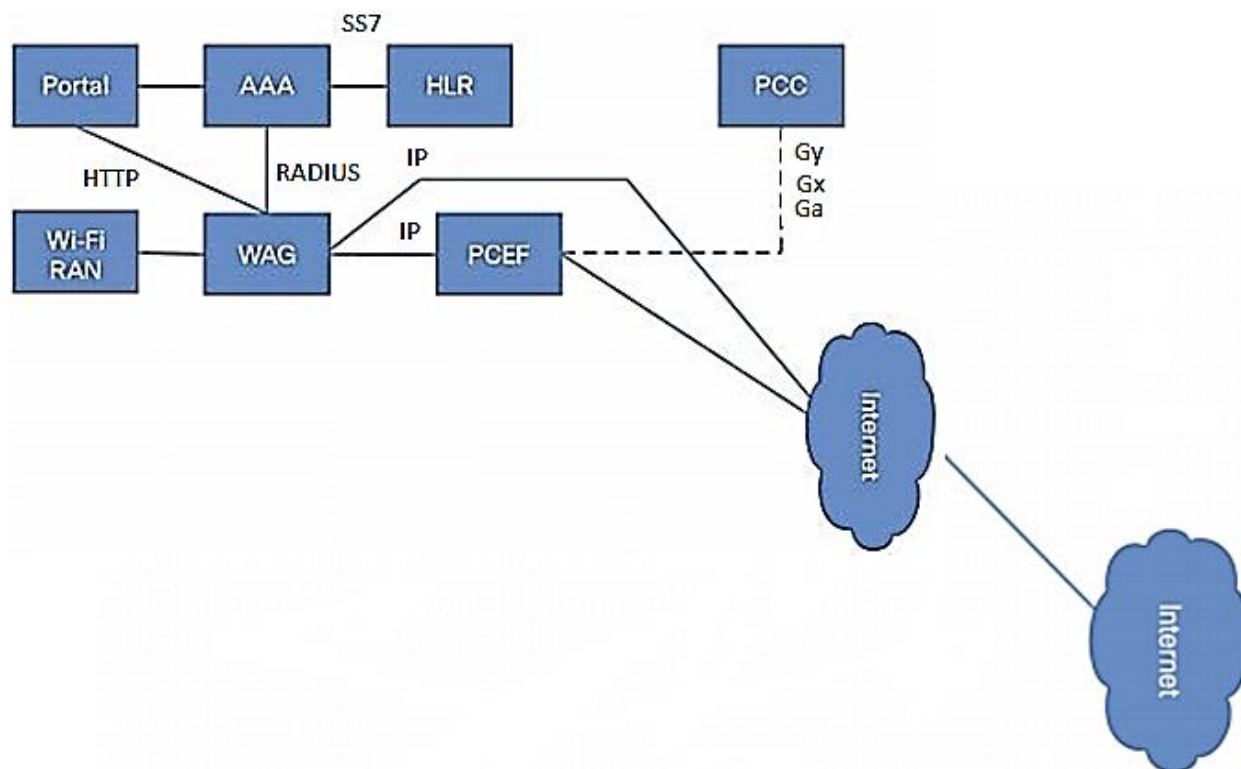


Рисунок 3.4 - Архитектура с выделенным PCEF

3.4 Туннели GTP в сторону традиционного GGSN

Если PCEF является интегральной частью GGSN, тогда опция перекладки WiFi-сессий в GTP-туннели (пакетный протокол передачи данных, PDP-контекст) может предложить наилучшее решение для интеграции PCC. В данном случае трафик, который не принадлежит мобильным абонентам оператора и который, таким образом, не может быть обработан на GGSN, перенаправляется напрямую в Интернет, рисунок 3.5.

Данная модель решения однозначно требует поддержки GTP на WAG. Важно также обеспечить доступность требуемых атрибутов в запросе PDP-контекста, которые обязательны для PCC-системы оператора. Как уже говорилось ранее, эти атрибуты обычно включают IMSI, MSISDN, профиль QoS, APN,

Важно понимать, что даже несмотря на то, что все сессии (3G и Wi-Fi) контролируются на GGSN, данное решение не поддерживает прозрачный хендовер IP-сессий между Wi-Fi и 3G радиосетями. Это происходит из-за того, что Wi-Fi и 3G контексты PDP являются индивидуальными сессиями и пользовательское устройство может открыть их одновременно. К сожалению,

стандарт 3GPP не предлагает механизма, который бы гарантировал, что один и тот же GGSN выбран для обоих контекстов PDP.

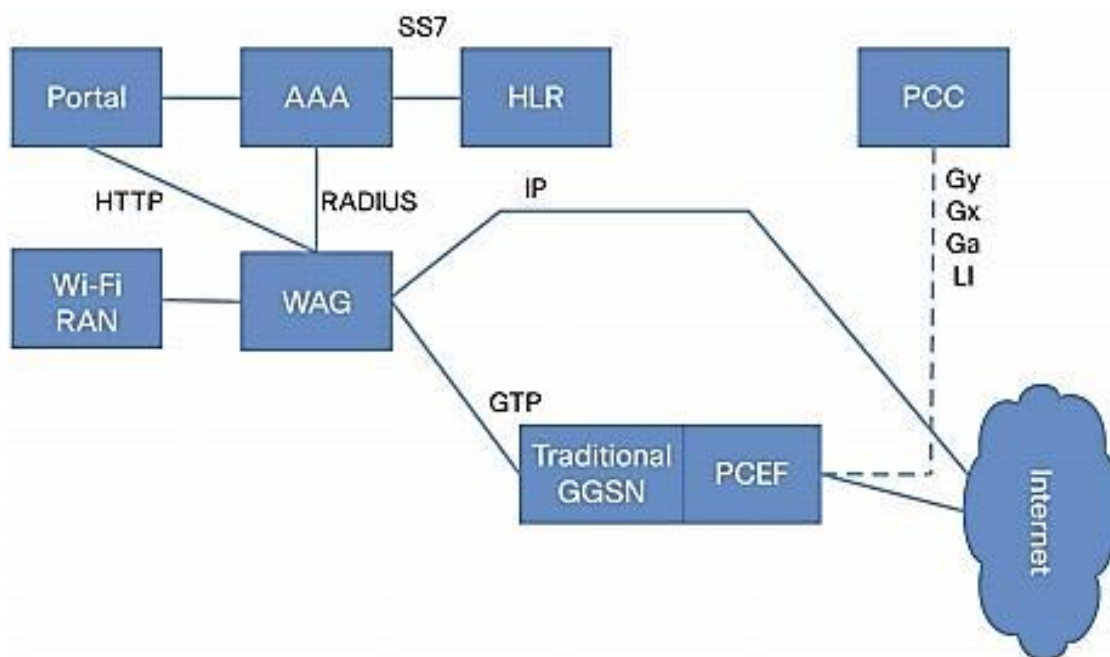


Рисунок 3.5 – Архитектура GTP-к-Традиционному GGSN

3.5 PCC Интеграция

При выполнении PCC интеграции необходимо понимать следующее:

- описанные опции применимы и необходимы для 3G. Позже будет показано, что LTE предоставляет интеграцию в EPC и, таким образом, в PCC;
- критически важно, чтобы WAG мог предоставлять всю необходимую информацию для тарификации (это особенно важно с учетом того, что некоторые из требуемых атрибутов не являются частью EAP-аутентификации и их необходимо получать отдельно, если необходимо, например, MSISDN, профиль QoS и, опционально, характеристики тарификации 3GPP);
- обычно PCEF не обслуживает трафик пользователей, которые не являются мобильными абонентами оператора (не-SIM абоненты). Такой трафик отправляется напрямую в Интернет. Если таким сессиям необходим полисинг и применение функций тарификации, то это обычно выполняется на WAG и системах обеспечения сети Wi-Fi.

3.6 LTE

До того как будет представлена третья функция архитектуры WiFi-оффлоада - хендовер сессии, будет показан сценарий интеграции PCC в LTE. Это позволит позже разобраться с мобильностью пользовательских сессий и их центрального контроля и терминции.

3GPP TS 23.402 описывает интеграцию доверенной и недоверенной не-3GPP сетей IP-доступа с EPC. Стандарт допускает, что сеть стандарта Wi-Fi является допустимой сетью доступа, как любая другая сеть доступа на базе

3GPP. Это позволяет операторам использовать стандартные компоненты EPC для интеграции и, таким образом, помогает гарантировать хороший уровень интероперабельности между различными типами доступа.

Как упоминалось ранее, документ концентрируется на доверенной части архитектуры. Для отправки трафика Wi-Fi к EPC определены два интерфейса, и оба терминируют сессии Wi-Fi на шлюзе пакетных данных (P-GW/ Packet Gateway), рисунок 3.6.

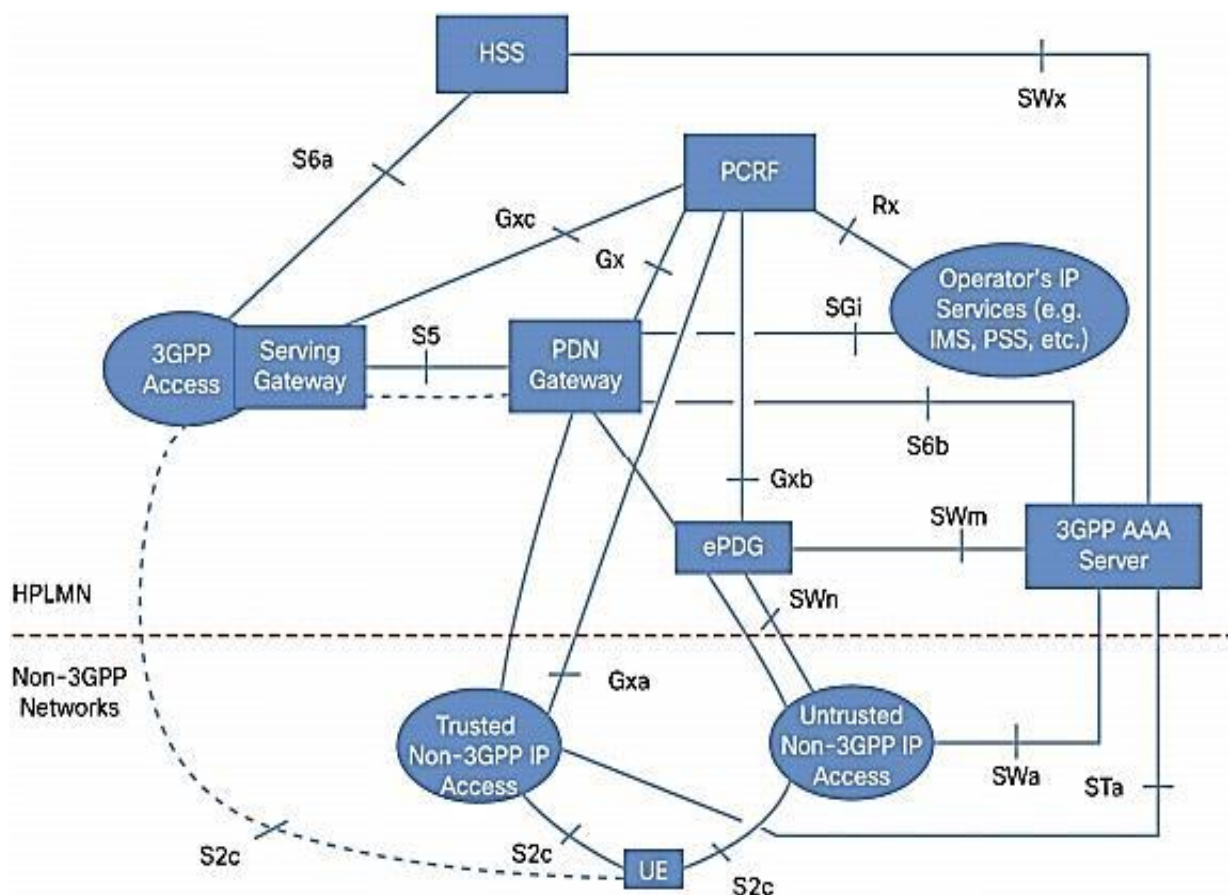


Рисунок 3.6 – 3GPP-архитектура для интеграции не-3GPP IP-доступа с EPC
Опция S2c

Интерфейс S2c основан на двухстековом мобильном IPv6 протоколе (DSMIPv6/Dual-Stack Mobile IPv6) и требует специальной поддержки на стороне оборудования пользователя. DSMIPv6 создает туннельное соединение между пользовательским устройством и P-GW, который используется для пересылки всего трафика к- и от устройства пользователя. P-GW отвечает за назначение виртуальных IP-адресов для туннеля в процессе его установки. Этот IP-адрес из того же IP-пула, который используется для LTE-сессий. Учитывая, что весь трафик к-/от пользовательскому устройству отправляется через туннель, то P-GW имеет полную картину трафика пользователя и может применять функции PCC или другие требуемые функции идентично тому, как это делается с сессиями LTE, рисунок 3.7.

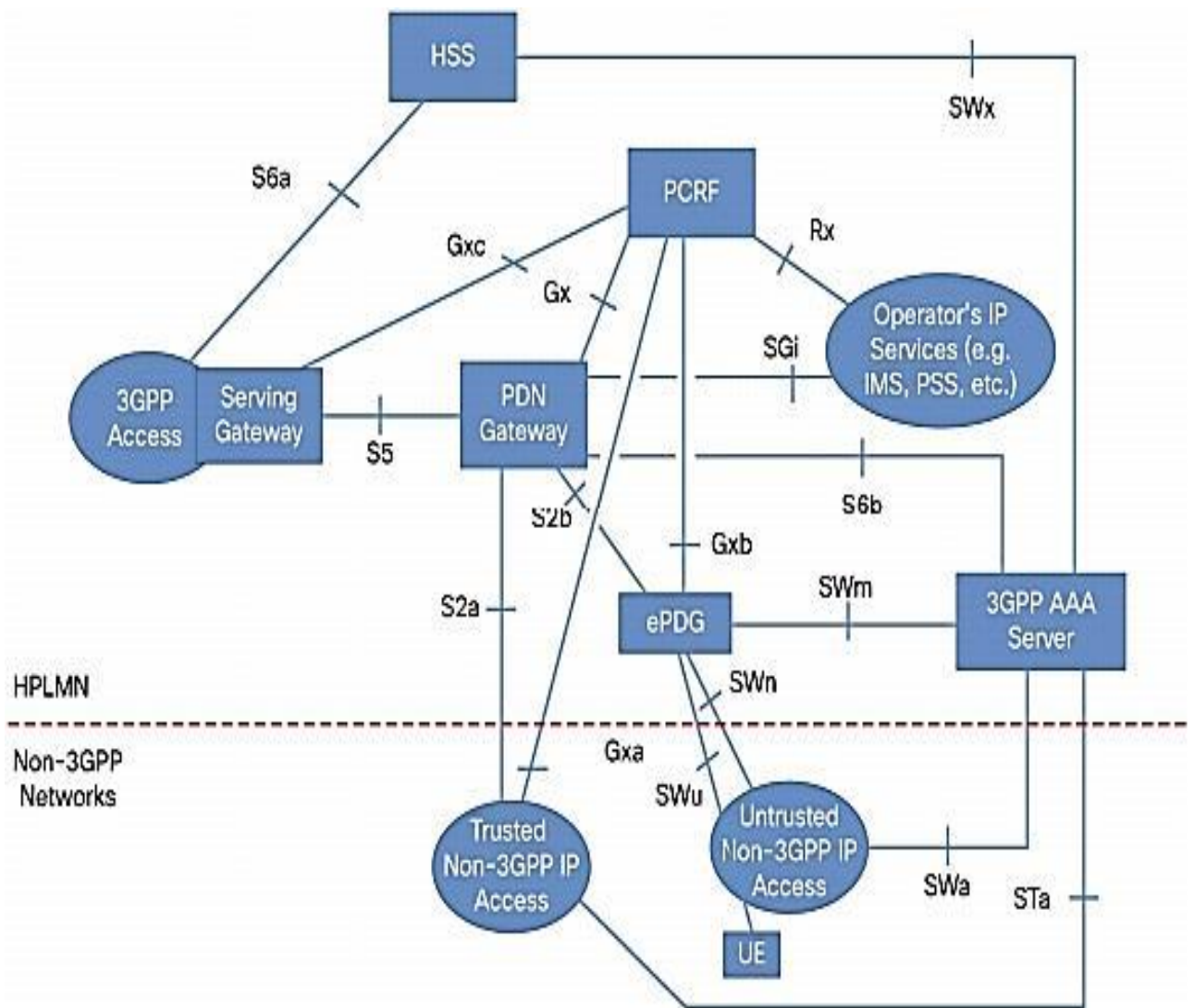


Рисунок 3.7 – 3GPP-архитектура для интеграции не-3GPP IP-доступа с EPC.
Опция S2a

Другая опция, показанная на рисунке 3.7, говорит о выборе интерфейса S2a для пересылки трафика из сети Wi-Fi к EPC. Этот интерфейс основан на протоколе PMIPv6 (Proxi Mobile IP v6). Так же, как и S2c, этот интерфейс терминируется на P-GW и обеспечивает получение полной картины пользовательского трафика. Отличие между двумя описанными интерфейсами состоит в том, что PMIPv6 не требует внесения каких-либо изменений в пользовательское оборудование. WAG в доверенной не-3GPP IP-сети предоставляет функции мобильного IP (Mobile IP) прозрачно для клиента. WAG формирует туннель, запрашивает IP-адрес от P-GW и затем ассоциирует этот IP-адрес с сессией Wi-Fi. В данном случае пользовательское устройство получает IP-адрес из пула P-GW, но это не некий виртуальный адрес, а IP-адрес, который физически используется радиointерфейсом Wi-Fi на устройстве пользователя, рисунок 3.8.

Были представлены для метода интеграции: через S2a и через S2c. Каждый метод имеет различные показания к использованию. Модель на

основе S2c требует внесения изменений в пользовательское оборудование, таким образом, это метод с вовлечением клиента. Такой метод может быть весьма не тривиальным при применении в мобильной сети, т.к. потребует установки специального программного обеспечения на клиентское устройство (это может быть специальное приложение, поддерживающее DSMIPv6 прим. Wi-Life.ru). При этом мобильный оператор должен обеспечить, что такое приложение сможет работать на большом количестве мобильных устройств и операционных систем, а также обеспечить возможность загрузки новых версий данного ПО впоследствии. Также важно замотивировать пользователей использовать такое ПО.

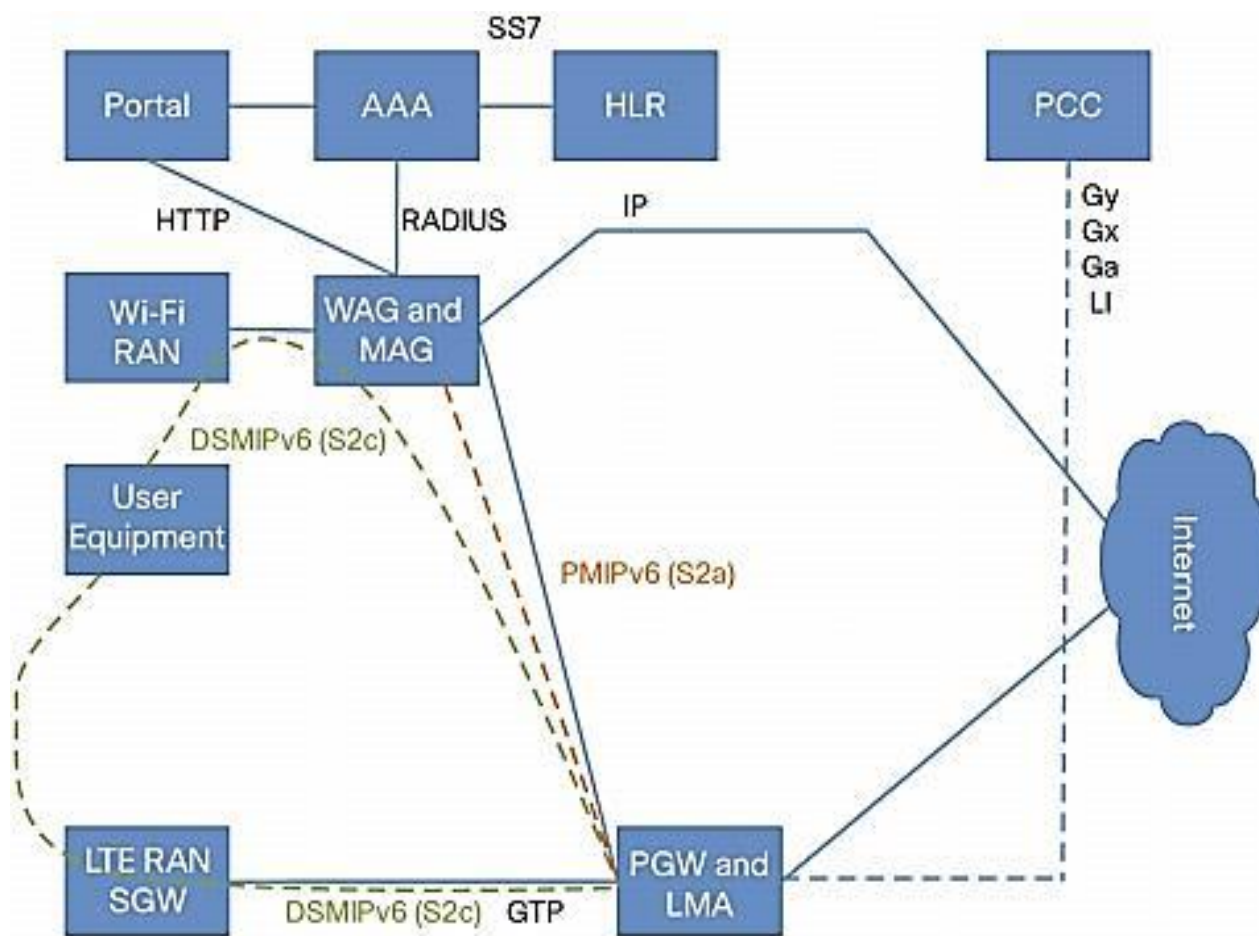


Рисунок 3.8 – Архитектура LTE

Подход с использованием интерфейса S2a обходит проблему необходимости применения специально клиентского ПО. Но возникает ситуация, когда оператор теряет контроль активации Wi-Fi сессии и хендовера сессии на пользовательском устройстве. Потеря такого контроля может вести к непредсказуемому поведению клиентского устройства в процессе переключения с сети доступа 3GPP в сеть Wi-Fi и обратно. На рисунке 3.14 представлен вход в сеть, как определено в 3GPP. Доверенная не-3GPP сеть IP-доступа представлена сетью Wi-Fi с WAG, как часть этой сети. Для более детального описания Call Flow см. 3GPP TS 23.402.

3.7 Хендоверы

3.7.1 Хендовер между радиointерфейсами WiFi и мобильной сети. До начала анализа различных методов хендовера важно разобраться с терминами, которые используются в этом контексте. Особенно важно понимать, что такое хендовер сессии и какие типы хендовера могут использоваться в зависимости от требования мобильного оператора.

В мобильных сетях (с передачей данных) хендовер является одной из важнейших процедур - когда пользователь перемещается из зоны действия одной радиостанции к другой (чаще всего речь о мобильных базовых станциях или точках доступа WiFi-стандарта, прим. Wi-Life.ru). Процедура хендовера описывает поведение сети когда пользователь переключается с одного типа радио на другой (например с 3G на Wi-Fi).

На сегодняшний день несколько типов хендоверов могут использоваться. Выбор какого-либо конкретного типа в сети мобильного оператора должен подразумевать необходимый баланс между ожиданиями пользователей и сложностью архитектуры решения. Типы хендоверов:

- без постоянной поддержки IP-адреса (хендовер связности с сетью);
- с постоянной поддержкой IP-адреса (IP-хендовер);
- сессионный хендовер (прозрачный хендовер).

Хендовер без постоянной поддержки IP-адреса: когда пользователь присоединяется к сети стандарта Wi-Fi, то он прозрачно аутентифицируется и получает новый IP-адрес от сети Wi-Fi. Все новые коммуникации пользователя могут использовать этот новый назначенный IP-адрес как источник. Все ранее установленные TCP и/или UDP соединения в сети 3G, тем не менее, могут продолжаться через сеть 3G. Если логика, имплементированная в пользовательское устройство, подразумевает отключение 3G интерфейса (например, в случае входа в WiFi-сеть, устройство может принудительно отключать пакетную часть 3G, прим. Wi-Life.ru), тогда уже установленные соединения должны будут автоматически переустановиться через сеть стандарта Wi-Fi, но с использованием нового IP-адреса.

Хендовер с постоянной поддержкой IP-адреса: Когда пользователь присоединяется к сети стандарта Wi-Fi, то пользователю будет назначен тот же IP-адрес, который он использовал в 3G или LTE сети. Если установленные TCP и/или UDP соединения связаны с физическим интерфейсом (учитывая обычную модель имплементации стека TCP/UDP на пользовательском устройстве), тогда эти соединения все равно будут автоматически переустановлены через Wi-Fi даже с учетом использования одного и того же IP-адреса.

Сессионный хендовер: данный тип подобен IP-хендоверу, но он должен происходить во временном интервале, позволяющем работать медийным приложениям реального времени (Голос/VoIP, Потокое видео и т.п.). Например, используя уже установленные сокеты: UDP для медийного трафика

и TCP обмена контрольными сообщениями медийной сессии, продолжать этот процесс без прерывания или деградации в уровне услуги, заметной для пользователя, когда мобильное устройство переключается между Wi-Fi и 3G. (Основная идея в реализации быстрого хендовера с использованием одного IP-адреса, но так, чтобы собственные механизмы буферизации в приложении смогли успеть компенсировать время переустановки UDP и TCP сокетов при переходе из 3G в Wi-Fi и наоборот, прим. Wi-Life.ru).

Важно знать, что бесшовный хендовер может быть получен только во взаимодействии с устройством пользователя (когда сеть может взаимодействовать с мобильным устройством, прим. Wi-Life.ru). Для этого необходимо проводить модернизацию существующего программного обеспечения клиентских устройств. Как минимум, необходимо ПО для формирования виртуального интерфейсного адаптера для маскирования структуры физических интерфейсов для сокетов TCP и UDP.

3GPP определяет механизмы хендоверов для доверенной сети стандарта Wi-Fi только как части LTE-архитектуры. Для недоверенной сети Wi-Fi варианты существуют как для 3G, так и для LTE.

3.7.2 Хендоверы на основе S2a (без клиента/clientless). Преимущество PMIPv6, как протокола для S2a интерфейса, состоит в том, что этот протокол был разработан для мобильности IP-трафика, обеспечиваемой сетью. Таким образом, он может обеспечить, без улучшений на стороне клиента, хендовер IP-адресов между различными типами доступа. В данном дизайне P-GW отвечает за закрепление и контроль сессии, назначение IP-адресов и переключение PMIPv6- или GTP-туннелей между различными шлюзами доступа в случае необходимости хендовера. Такие шлюзы доступа должны поддерживать функцию MAG (Mobile Access Gateway) для обеспечения всех функций мобильного IP-узла.

Хотя хендовер на основе S2a выполняется без клиента, помните, что основные проблемы хендовера между Wi-Fi и 3G лежат в плоскости присутствия двух радиointерфейсов на устройстве пользователя и роли пользовательского устройства при принятии решения о выполнении хендовера. Из-за этих двух факторов сеть ни при каком условии не может самостоятельно гарантировать, что пользовательское устройство использует корректный радиointерфейс. Определение того, что считать подходящим/корректным интерфейсом, может меняться от оператора к оператору.

Также на пользовательском устройстве стек TCP/IP должен быть связан с двумя физическими радиointерфейсами, которые могут со временем иметь идентичные IP-адреса. В дополнение к этому в некоторых вариантах имплементации стека TCP/IP сокет приложения могут быть связаны с каким-либо физическим интерфейсом. Таким образом, когда пользовательское устройство или приложение переключается между интерфейсами, то сессии приложения должны быть прерваны и может потребоваться переустановка сессий через новый интерфейс.

С учетом всех представленных зависимостей архитектура на основе PMIPv6 не может гарантировать (без участия пользовательского оборудования) прозрачный хендовер для всех типов пользовательских устройств. Такая ситуация может быть существенно улучшена с помощью установки на пользовательское устройство правильно спроектированного менеджера соединений, использующего виртуальные адаптеры (чаще всего такой менеджер является частью специализированного мобильного приложения, прим. Wi-Life.ru).

3.7.3 Хендоверы на основе S2c (с участием клиента/client-based). Для интерфейса S2c 3GPP использует протокол DSMIPv6, разработанный IETF, между устройством пользователя и P-GW, работающего точкой привязки сессий. Находясь в не-3GPP сети, мобильное устройство формирует DSMIPv6 к подходящему P-GW и ему назначается виртуальный IP-адрес, который затем используется для коммуникаций приложений. 3GPP рассматривается как домашняя сеть, и, таким образом, пользовательскому устройству нет необходимости устанавливать DSMIPv6-туннель к 3GPP сети.

Хендовер с вовлечением клиентского устройства предоставляет возможности получить прозрачный сервис без необходимости переустановки TCP и UDP сессий, т.к. клиентское ПО маскирует все физические интерфейсы за одним виртуальным адаптером. Все сокеты начинаются с этого виртуального адаптера, и нет необходимости перезапускать стек TCP/IP.

3.8 Варианты для хендовера из 3G в сети стандарта Wi-Fi

Хотя эта часть не стандартизована, существует три чаще всего используемых дизайна для обеспечения хендовера между 3G и Wi-Fi сетями доступа. Все они строятся на присутствии P-GW в сети и, таким образом, не напрямую, но требуют модернизации мобильной сети до EPC.

Первый вариант состоит в интеграции 3G-сети в EPC, используя SGSN с поддержкой S4, рисунок 3.9.

Эта опция строится на возможности применения P-GW для управления 3G-соединениями с обеспечением хендовера S2a-типа.

Второй вариант состоит в использовании пользовательских устройств с поддержкой S2c. Такие устройства могут сами открывать DSMIPv6-туннель к P-GW через любой тип сети доступа, включая 3G. В таком случае сама сеть 3G не интегрирована внутрь EPC. Однако пользовательские сессии сходятся на P-GW и контролируются им для всех типов доступа. Такой подход может потребовать модернизации систем полисинга и тарификации до стандартов LTE. Также в данном сценарии параметры 3G QoS не видны на P-GW.

Третий вариант состоит в использовании S2a-интерфейса на традиционном 3G GGSN. Здесь 3G соединения проходят как PMIPv6 к P-GW и закрепляются на нем. Данный вариант широко не применяется из-за неразвитой поддержки функционала MAG на большинстве GGSN.

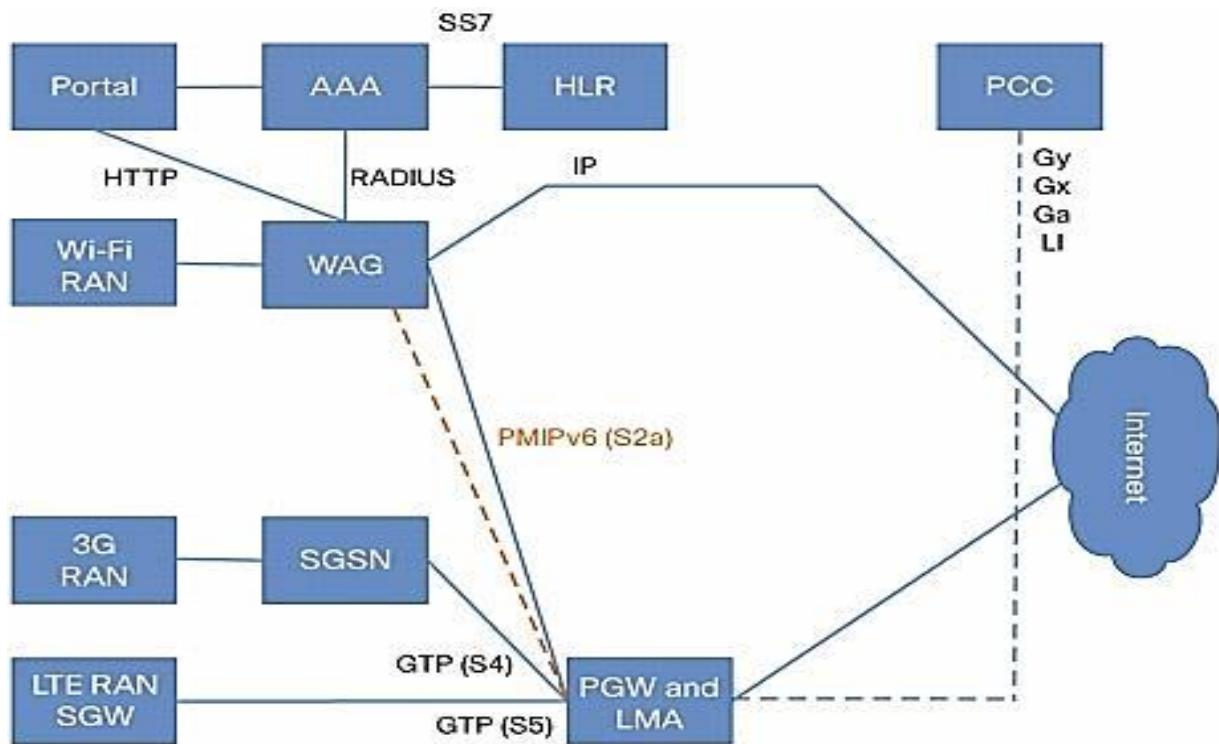


Рисунок 3.9 - Архитектура интеграции 3G-сети в EPC с использованием SGSN, поддерживающего S4

3.9 Мобильность между радиосетями. Заключение

Как было показано, здесь хендовер между радиосетями - это не простая задача. Сегодня стандарты существуют и улучшаются, отражая растущий опыт индустрии. Тем не менее, полнофункциональный прозрачный хендовер не получил широкого распространения в реальных сетях.

Основная проблема лежит в пользовательском оборудовании, поведение которого не предсказуемо. Также варьируются имплементации стека TCP/IP. Решения о присоединении к сети и расоединении с сетью, принимаемое устройствами различных производителей и различными типами устройств, варьируются. В общем случае системы клиентских устройств имеют тенденцию быть закрытыми к модификации программного обеспечения уровня драйверов и поэтому часто не разрешают установку соответствующих программ/приложений операторами. 3GPP и другие институты стандартизации (WBA/Wireless Broadband Alliance, OMA/Open Mobile Alliance) занимаются решением этих проблем с менеджерами соединений и централизованных политик оффлоада трафика (на базе ANDSF/Access Network Discovery and Selection Function), но это требует времени для широкой адаптации.

3.10 Недоверенная не-3GPP сеть IP-доступа

Первые стандарты 3GPP по интеграции WiFi-сети позиционировали WiFi-сети как недоверенный доступ. Было множество причин для этого. В сетях не было безопасной EAP-аутентификации, они не имели шифрования и

часто принадлежали сторонним провайдерам услуг. Таким образом, стандарт требовал, чтобы механизмы безопасности были внедрены напрямую между оборудованием пользователя и пакетным ядром.

В общем случае архитектура для недоверенного доступа допускает, что пользователи могут использовать любой тип доступа, к которому они могут присоединиться. После получения соединения клиентское ПО (программный клиент) открывает IP Sec-туннель к пакетному ядру, где туннель проходит аутентификацию, получает IP-адрес. Затем весь трафик перенаправляется в пакетное ядро. Все функции для PCC могут быть переиспользованы из существующего пакетного ядра. Для реализации данного типа доступа в стандарте была введена функция пакетного ядра TTG (Tunnel Termination Gateway). TTG отвечает за терминацию туннелей IP Sec и коммутацию трафика из этих IP Sec-туннелей в GTP-туннели к традиционным GGSN. В LTE-архитектуре эта функция является частью функционала ePDG [20].

3.11 Femto сети

Фемтосотой (англ. Femtocell) называется миниатюрная (домашняя, офисная, т.е. служащая для indoor-покрытия) базовая станция сотовой связи малой мощности, которая подключается к сети оператора через любой широкополосный интернет-канал (ШПД). Задача фемтосоты – обеспечить покрытие сотовой связи в радиусе своего действия.

Фемтосота чем то напоминает обычный беспроводной роутер, но отличается от последнего тем, что работает в лицензированном частотном диапазоне и поэтому может быть предоставлена Вам только сотовым оператором. В виду этого возможна работа мобильного телефона лишь с одним оператором сотовой связи, что в свою очередь призывает всех пользователей в вашем доме переключаться на этого оператора. А это очень неудобно!

Попав в радиус действия фемтосоты (если это не запрещено в настройках), мобильный телефон автоматически в ней регистрируется. При этом на телефон приходит SMS-сообщение о подключении. Вы точно так же как и раньше можете совершать звонки и принимать вызовы, пользоваться высокоскоростным 3G интернетом, только при этом сигнал передается с фемтосоты через широкополосный интернет-канал в зашифрованном виде до шлюза сотового оператора.

Фемтосота - это самонастраивающееся устройство, после ее подключения к ШПД она автоматически подключается к шлюзу фемтосот оператора, создает защищенное IPSec туннельное соединение, получает настройки и в течение 10 минут готова к работе. В фемтосоте стоит технологическая SIM-карта, которая отвечает за аутентификацию (именно на ней прописаны ключи), поэтому не пытайтесь вставить обычную SIM-карту, она не заработает.

Кроме того устройство сканирует эфир и определяет наличие соседних фемтосот и базовых станций оператора, после чего автоматически

прописывает их к себе. Поддерживается хендвер (handover – переход абонента от одной базовой станции к другой без разрыва соединения) при переходе в зону действия макросоты.

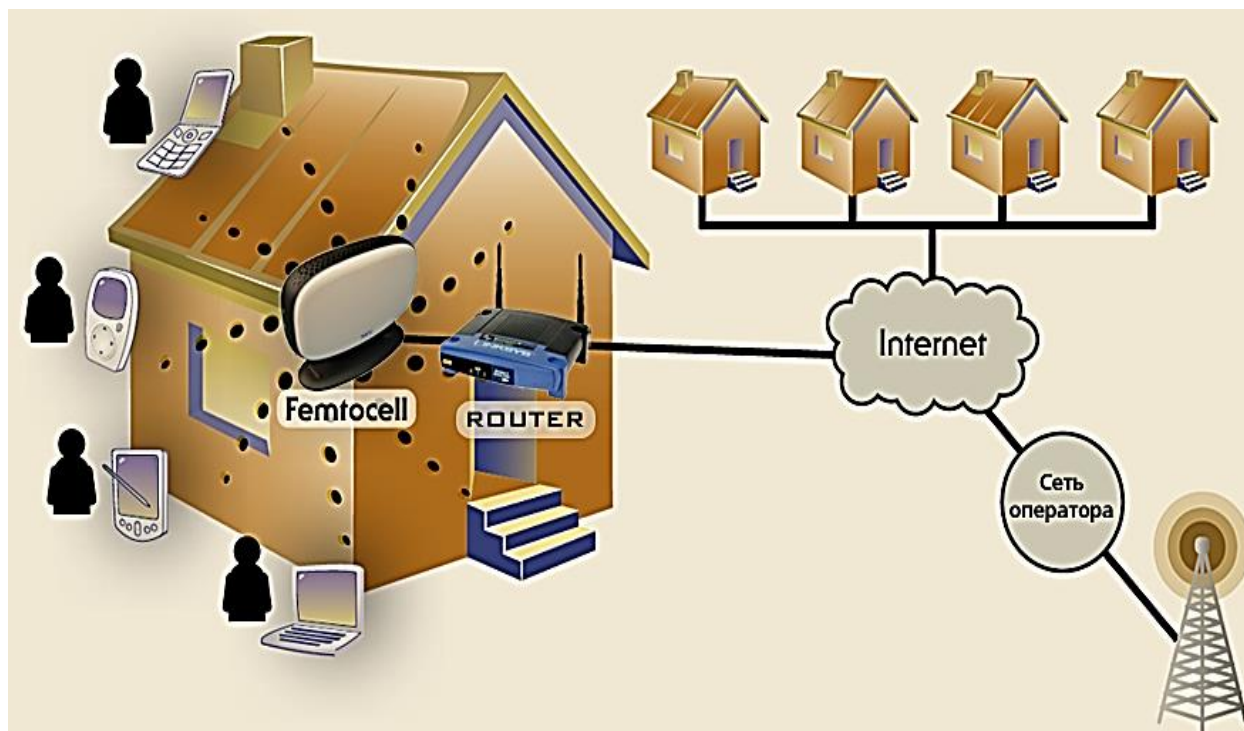


Рисунок 3.10 – Принцип организации фемто сети

Есть два режима работы фемтосоты – открытый и ограниченный доступ. В первом случае, все кто находится в радиусе действия устройства могут пользоваться мобильным телефоном. При ограниченном доступе разрешено работать только определенным SIM-картам, прописанным на фемтосоте.

Площадь покрытия одной мини-базовой станции 100-200 кв.м. в зависимости от геометрии помещения и материалов стен. Это квартира или небольшой офис. При необходимости можно установить несколько фемто-точек и увеличить радиус действия сети.

Модельный ряд фемтосот:

- 4-8 канальные устройства для домашнего использования (Home Femto);
- 8-32 канальные устройства для малого и среднего бизнеса (Enterprise Femto);
- 16-32 канальные устройства для использования вне помещений (Outdoor Femto).

Сколько каналов, столько абонентов одновременно может вести разговоры или пользоваться интернетом на скорости до 7.2 Мбит/с.

Основное достоинство – подключение к сети сотового оператора через любой ШПД. Это позволяет организовать с помощью фемтосот покрытие в местах, где сотового сигнала попросту нет, например, в подвальных

помещениях кафе и ресторанов, на цокольных этажах офисов, на удаленных объектах и т. п.

Функционал фемтосоты позволяет организовывать зоны со специальными условиями тарификации – для этих зон оператор может предоставлять скидки на звонки и трафик.

В местах со слабым сигналом в радиусе действия фемтосоты обеспечивается устойчивая связь и равномерное покрытие, соответственно уменьшается мощность излучения мобильного, и увеличивается время работы аккумулятора от 1-ой подзарядки.

Для корпоративных пользователей будет интересна возможность организации функционала мини-АТС.

Есть правда и неудобства:

- фемтосота ориентирована на поддержку только 3G сети и если наружная макросота ее не поддерживает, разговор прервется;

- если мобильный телефон не поддерживает 3G, он не сможет подключиться к фемтосоте.

Можно заключить, что в первую очередь интерес к фемто-точкам может возникнуть у корпоративных пользователей, если оператор предоставит скидки на голосовой и интернет трафик. Возможно, в будущем пригодится она и для обладателей "умных домов" для управления оборудованием с установленной микро-sim-картой.

Конечно же, развертывание "домашних сот" выгодно в первую очередь самому оператору, это позволяет разгрузить сеть, создав дополнительную адресную ёмкость в местах с максимальной активностью абонентов.

Если на регистрацию базовой станции в среднем тратиться 18 месяцев, то для фемто-баз действует упрощенная процедура регистрации и сроки сокращены до 3 месяцев. Тем самым можно оперативно затыкать "дыры".

Но послабления в упрощенной регистрации накладывают свои отпечатки – это использование только внутри помещений и ограничение по мощности в 100 мВт. Для Москвы ограничения еще жестче – 25 мВт, что связано с близостью частот 3G и частот, на которых работает система ПРО.

Для одного голосового соединения требуется ширина канала 70-75 Кбит/с. Для разговора 4 человек одновременно потребуется 300 Кбит/с, а для 8 – 600 Кбит/с. Для Интернет-соединения на максимальной скорости для 3G сети в 7.2 Мбит/с потребуется канал сопоставимой ширины – т.е. не менее 7.2 Мбит/с.

Надо так же понимать, что это максимально-возможная скорость в интернет-канале и что эта скорость делится на всех пользователей, подключенных к фемто-точке.

Если ШПД обладает недостаточной пропускной способностью и есть компьютеры в сети способные создавать активный трафик, необходимо правильно расставить приоритеты (настроить QoS) на пограничном роутере. Иначе в часы пиковых нагрузок будет деградация голоса и зависания звонков.

Для удовлетворительной работы фемтосоты ШПД должен отвечать

следующим требованиям – задержка до шлюза оператора - не более 100мс, джиттер (колебания) – не более 50 мс, потеря пакетов не более 1,5 %. Проверить эти параметры можно с помощью команды ping.

Ввиду того факта, что большее время современный человек находится в здании (в среднем соотношение 80% к 20%) обеспечение покрытия внутри помещений является чрезвычайно важным моментом. Это может быть с легкостью достигнуто установкой фемто сот, которые не будут подвержены потерям полезного сигнала из-за проникновения через конструкцию строения, ослабление для макро сот составляет от 16 до 21dB. При использовании фемто также отпадает вопрос частотного и территориального планирования, так как зона обслуживания таких сот не превышает 200 метров, а маленькая выходная мощность не создает интерференции основной сети.

Процесс запуска в эксплуатацию фемто сот довольно прост, что несомненно является серьезным преимуществом и состоит из следующих шагов:

- покупка и регистрация;
- подключение питания и интернет доступа;
- процесс самостоятельной настройки;
- подключение к контроллеру доступа (Access Controller).

Несмотря на всю простоту использования данного решения для высокого уровня предоставляемых услуг необходимо тщательно выбрать место будущей установки соты для обеспечения наилучшего покрытия. Ключевым моментом здесь является нахождение центральной позиции в конкретном офисе, так как используются однонаправленные антенны.

4 Экспериментальная часть

4.1 Методика проведения эксперимента.

Целью эксперимента являлось улучшение уровня принимаемого сигнала, увеличение скорости передачи данных и снижение уровня интерференции внутри офиса, а также разгрузка секторов основной макро сети, путем частичного перевода трафика в фемто сеть.

Первоначально была выполнена установка и наладка контроллера базовых станций (BSC), с интеграцией в ядро сети (NSS).



Рисунок 4.1 - Передняя часть контроллера

После этого на территории здания были установлены 4 фемто соты.



Рисунок 4.2 - Фемто сота Ip-Access

Измерения проводились с использованием измерительного комплекса Nemo Outdoor в состав которого входили:

- два телефона Nokia C5;
- GPS приемник;

- ноутбук с установленным программным обеспечением Nemo Invex и Nemo Analyze.



Рисунок 4.3 - Измерительный комплекс Nemo Outdoor: а- телефон Nokia C5; б - GPS приемник; в – ноутбук с установленным ПО

После установки и настройки фемто сот, но до их запуска были проведены измерения внутри здания, определены обслуживающие макро соты, с уровнями обслуживающих сигналов RSCP(received signal code power), отношением сигнал/шум E_s/N_0 и скорости передачи данных. Дополнительно были собраны статистические данные обслуживающих секторов для дальнейшего сравнительного анализа показателей после запуска в эфир фемто сот. После запуска измерения были проведены повторно с целью подтверждения улучшения радио условий внутри помещения.

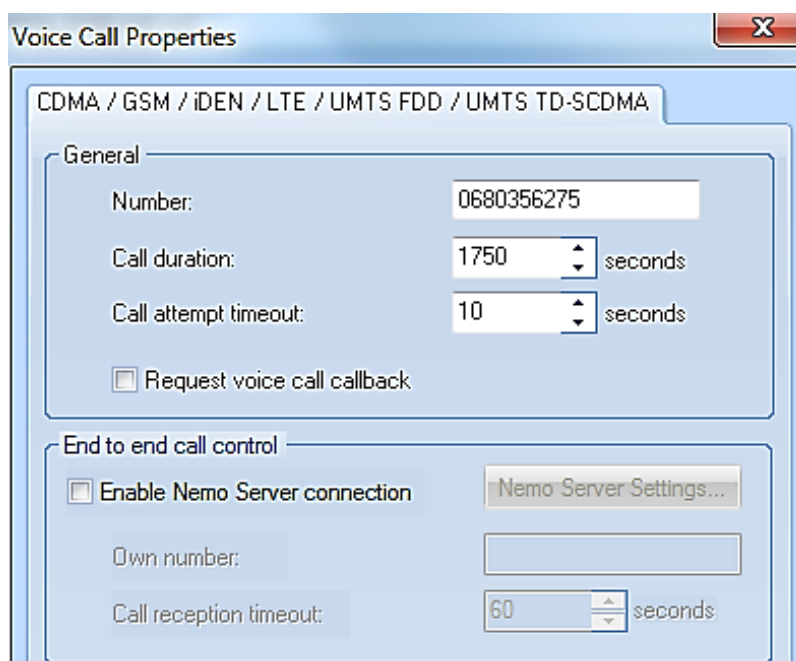


Рисунок 4.4 –Скриншот программы Nemo Invex. Написание сценария ГОЛОСОВОГО ВЫЗОВА

Тестовые мобильные станции, подключенные к программному обеспечению Nemo Inveh были принудительно зарегистрированы в сети UMTS. Был написан сценарий голосового вызова на тестовый номер с длительностью 1750 секунд. Столь длительное соединение необходимо для оценки устойчивости установленных исходящий вызовов, а также является максимально возможным, так как на сети установлены параметры, по истечению 1750 секунд (30 мин) автоматически разрывающие вызов. После этого в сценарии прописан тайм аут в 10 секунд и алгоритм повторяется вновь.

Для тестирования скорости передачи данных также были написаны сценарии загрузки файлов с общедоступных ftp серверов. Для достижения максимальных скоростей загрузка проводилась одновременно с нескольких адресов. В данном случае длительность активной фазы (загрузка данных) составляла 180 секунд. Далее происходил разрыв установленных сессий, пауза в 10 секунд и перезагрузка радио модулей тестовых телефонов. После происходил повторный запуск сценария.

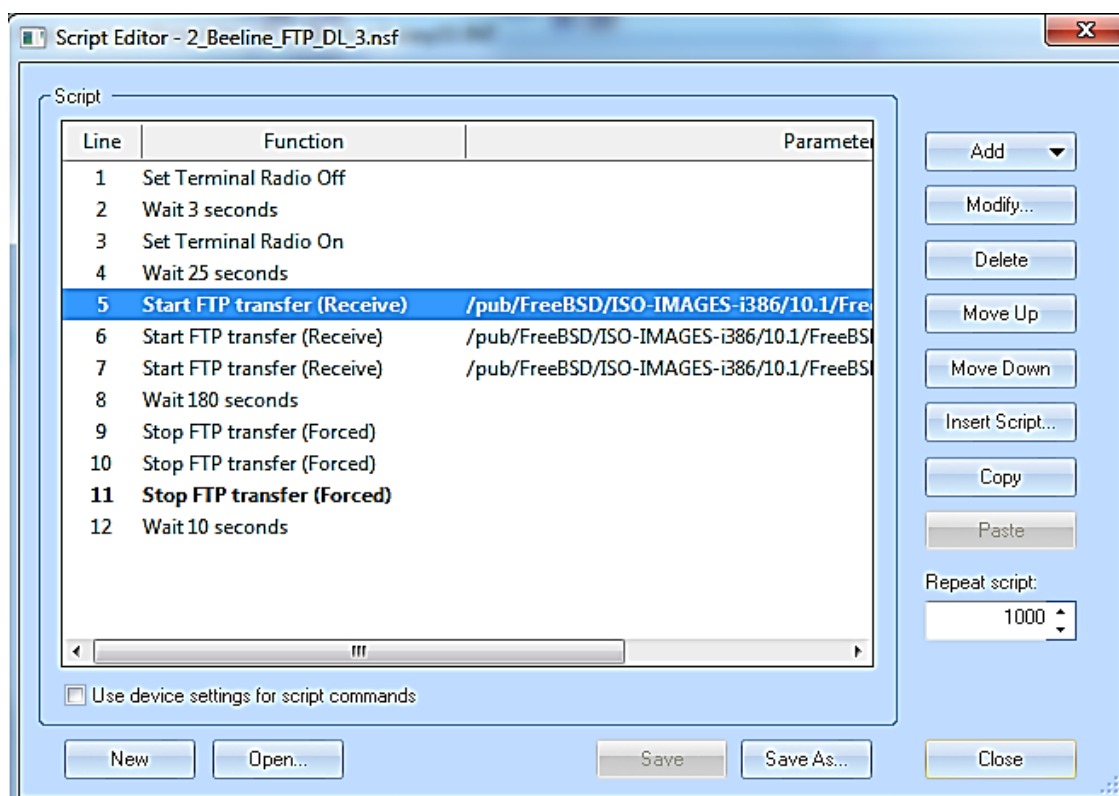


Рисунок 4.5 –Скриншот программы Nemo Inveh. Написание сценария для тестирования скорости загрузки.

Второй этап эксперимента заключался в обработке полученных результатов. Оценке подлежали основные показатели сети UMTS, такие как уровень принимаемого сигнала (RSCP), отношение сигнал/шум (E_c/N_0) и скорость передачи данных (Application throughput downlink). Сравнивались значения, полученные при измерениях до включения фемто секторов, со

значениями после включения. Оценивались максимальные, минимальные и средние значения за рассматриваемый период, сведенные в общую сравнительную таблицу. Для обработки данных использовалось программное обеспечение Nemo Analyze.

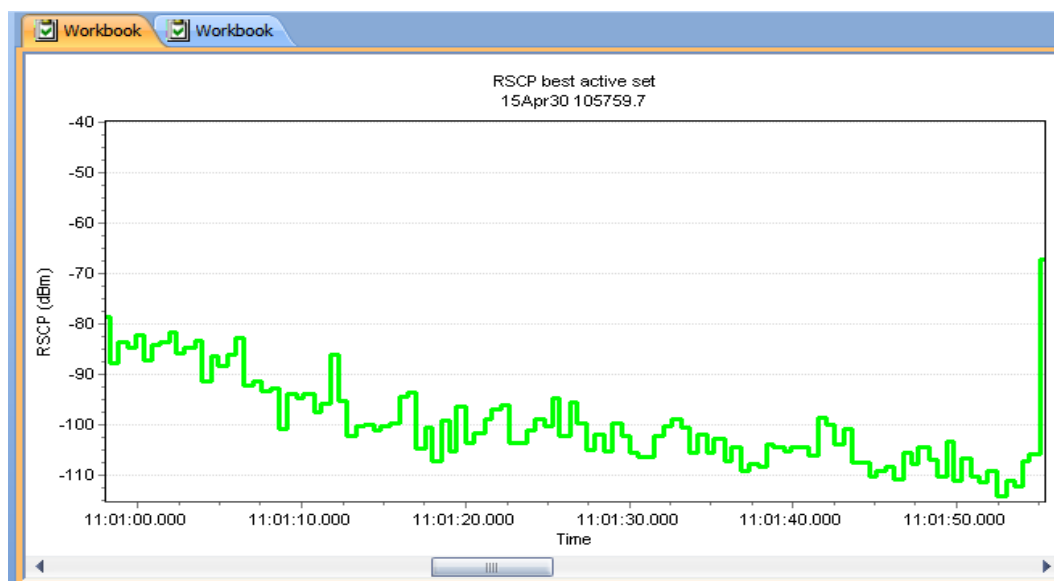


Рисунок 4.6 – Скриншот программы Nemo Analyze. Значения индикатора RSCP до включения фемто

Находясь внутри здания и обслуживаясь секторами основной сети, средний уровень RSCP имел среднее значение -100dBm . Это является недостаточным для предоставления как голосового сервиса (плохое качество речи, неразборчивость, эффект металлического голоса и высокой вероятностью обрыва установленных соединений), так и для передачи данных (низкие скорости обусловленные высоким уровнем помех и слабым уровнем полезного сигнала).

При аналогичных условиях (нахождение внутри здания), но с активированными секторами фемто сети уровень RSCP улучшился до -65dBm .

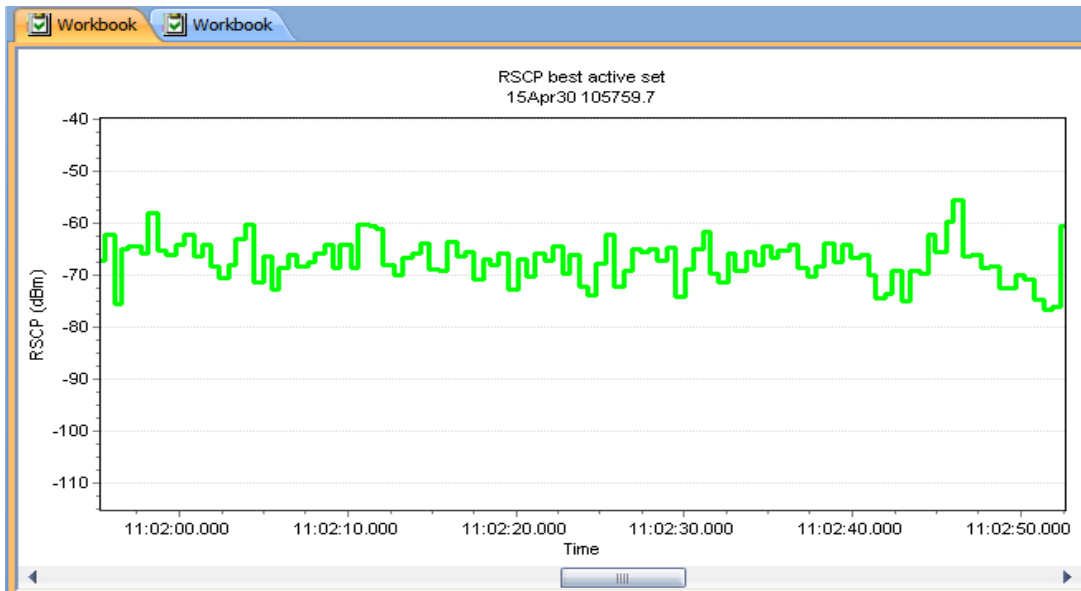


Рисунок 4.7 – Скриншот программы Nemo Analyze. Значения индикатора RSCP после включения фемто

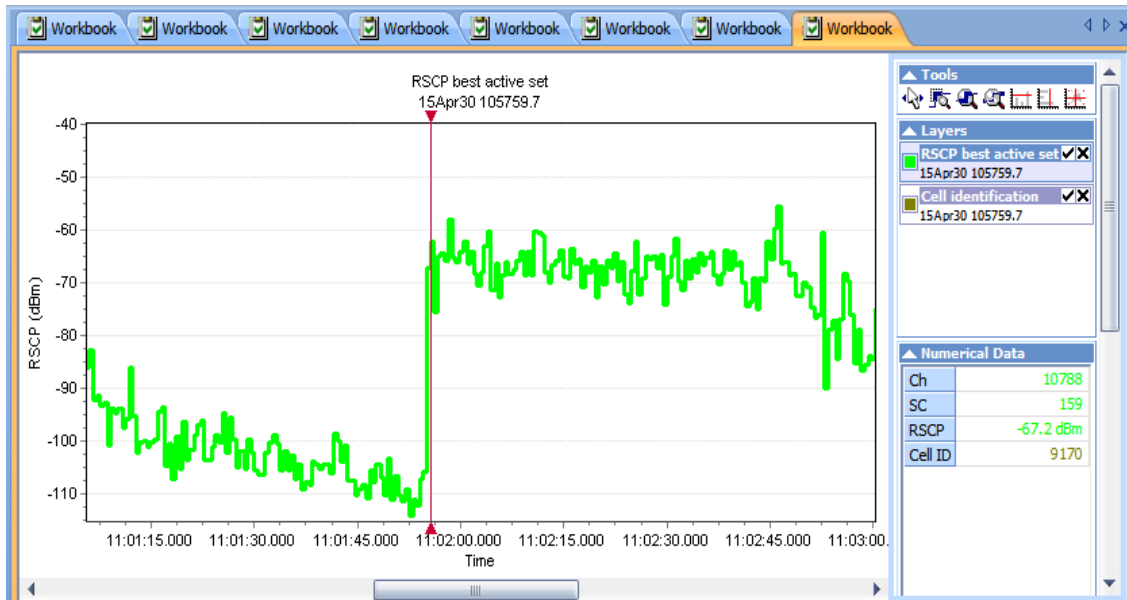


Рисунок 4.8 – Скриншот программы Nemo Analyze. Сравнительные значения индикатора RSCP (до и после включения фемто)

Из сравнительного рисунка видно улучшение уровня RSCP от средних значений - 95 dBm до - 65 dBm в момент активации фемто и переходом на нее (НО) мобильной станции. Зафиксированно улучшение на 30 dBm.

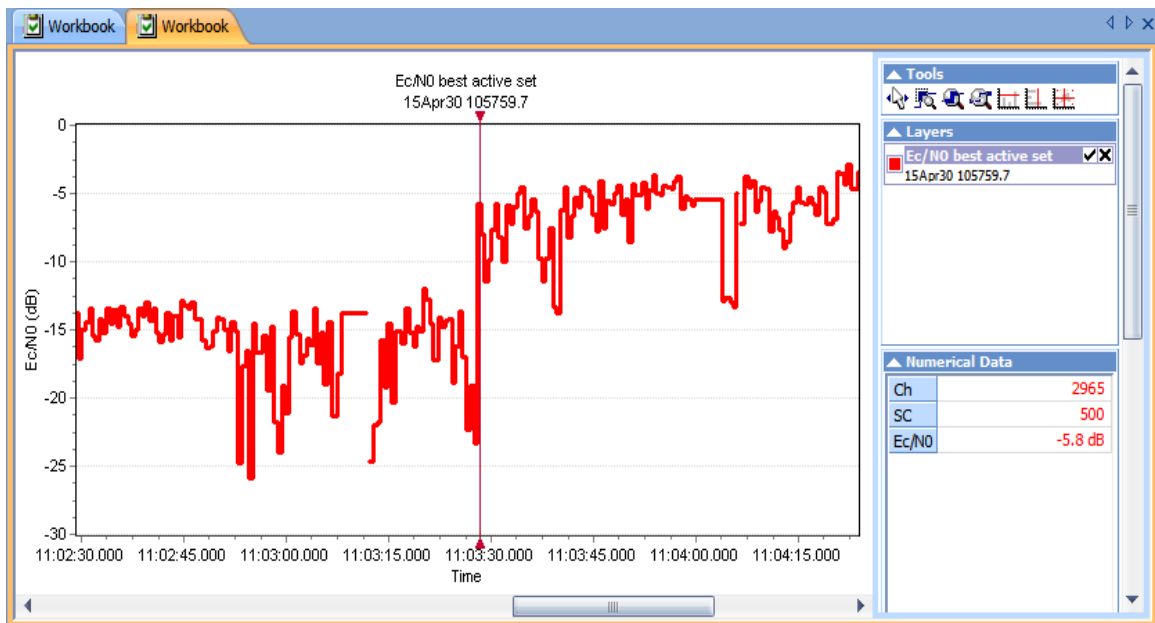


Рисунок 4.9 – Скриншот программы Nemo Analyze. Сравнительные значения индикатора E_c/N_0 (до и после включения фемто)

Похожая ситуация наблюдалась и с отношением полезный сигнал/шум. Значения E_c/N_0 изменились с - 15 dB до - 5 dB, улучшение составило 10 dB. Улучшение радио условий внутри рассматриваемого помещения положительным образом сказалось на качестве предоставляемых услуг в целом и ростом средней скорости загрузки в частности. Это четко видно на графике, отображающем скорость загрузки в направлении Downlink (application throughput downlink), где средняя скорость до запуска фемто составляла 900 kbit/s, после данное значение выросло до 4 Mbit/s, т.е. больше чем в 4 раза.

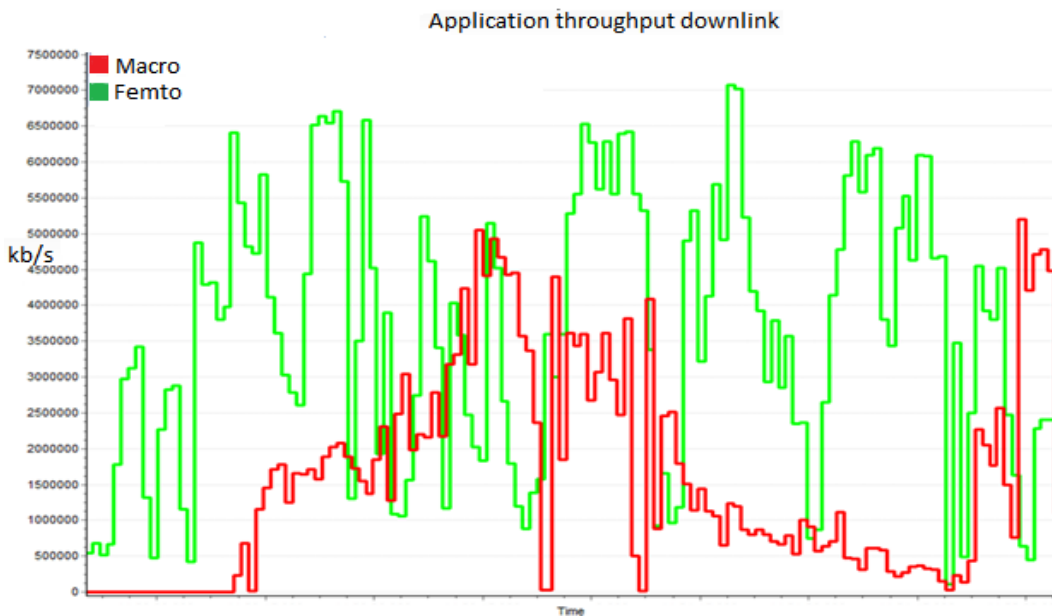


Рисунок 4.10 – Скриншот программы Nemo Analyze. Сравнительные значения скорости передачи данных (до и после включения фемто)

Также были разгружены внешние сайты, ресурсы которых больше не расходуются на абонентов, находящихся внутри рассматриваемого здания, улучшилось покрытие на улице (outdoor coverage).

Таблица 4.1 – Итоговые усредненные данные

Сеть	Es/N0(dB)			RSCP(dBm)			Application throughput downlink(kbps)		
	Сред	Макс	Мин	Сред	Макс	Мин	Сред	Макс	Мин
Макро	-15	-13	-25	-95	-65	-115	928	5568	0
Фемто	-5	-3	-12	-65	-50	-82	4024	7312	0

Результаты эксперимента наглядно доказали улучшение радио условий внутри здания и, как следствие, улучшение качества предоставляемых услуг сотового оператора. Средние значения уровня принимаемого сигнала RSCP улучшились на 30 dBm, зафиксирован рост средней скорости передачи данных в 4 раза с 928 kbps до 4 Mbps. Также был осуществлен перевод части трафика из макро сети в сеть Фемто, опорная сеть была разгружена.

Заключение

Стремительный рост трафика передачи данных, который согласно прогнозам компаний Cisco и Ericsson будет только ускоряться, и к 2019 году вырастет по меньшей мере в 10 раз, ставит операторов по всему миру перед серьезной проблемой: необходимостью постоянного и значительного расширения существующих сетей. Но из-за ограниченности частотного ресурса и высоким капиталовложениям, необходимо рассматривать и внедрять альтернативные методы разгрузки основных сетей. Некоторые из них и были рассмотрены в данной работе. Среди них технология WiFi offload и Femto сети. Данные технологии могут быть рассмотрены отдельно, но для преодоления возникающих вызовов следует рассматривать их вместе.

Основным преимуществом WiFi offload является возможность использования нелицензируемого частотного спектра, а также возможность заключения соглашений с уже развернутыми WiFi операторами. Это улучшит интерференционную картину и снизит затраты на расширение основной сети. Femto сети решают вопрос покрытия внутри зданий, что является очень важным, так как больший процент времени абоненты находятся именно в помещениях. Простота использования, не требующая процесса планирования частот, списка соседей и других параметров является ценным свойством данной технологии и также в значительной степени позволяю перевести трафик из основной сети в Femto, разгрузив при этом первую.

В экспериментальной части была запущена тестовая Femto сеть, состоящая из 4 секторов. Проводились измерения уровня принимаемого полезного сигнала RSCP, отношения сигнал/шум E_s/N_0 , а также скорость передачи данных внутри здания до и после запуска Femto сети. Полученные результаты показали значительное улучшение рассматриваемых показателей, так уровень RSCP улучшился со средних значений в -95dBm до -65dBm , а скорость загрузки увеличилась в 4 раза с 928 kbps до 4Mbps. Стало возможным разгрузить внешние сектора путем перевода части трафика в тестовую сеть, что также улучшило показатели основной сети, сохранив столь ценные ресурсы и увеличив покрытие. Тем самым цели и задачи, поставленные в начале работы были достигнуты. Сбор данных происходил с использованием программы Nemo Inveh, обработка полученных результатов осуществлялась программным обеспечением Nemo Analyze. Статистические данные реального оператора были собраны с использованием программы PRS Huawei.

Список литературы

- 1 E. Dahlman et al, “3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband”, Academic Press, Oxford, UK, 2007
- 2 Иванов В.И., Гордиенко В.Н. и др. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов / Под ред. В.И. Иванова. – 2-е изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003.
- 3 Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Дмитриев В.И. Системы мобильной связи.- СпбГТУ.-Спб.,1999
- 4 Вишневский В.М., Широкополосные и др. Беспроводные сети передачи информации / Учебник / Под ред. В.М.Вишневого - М.: Техносфера,2005.
- 5 CDMA: прошлое, настоящее и будущее / Под ред. Проф. Л.Е.Варакина и проф. Ю.С. Шинакова.-М.:МАС.-2003.
- 6 Cisco: в ближайшие 5 лет мобильная передача данных может вырасти почти в 10 раз // Интернет-страница компании «Cisco Systems, Inc.», URL: <http://www.cisco.com/web/RU/news/releases/txt/2015/02/020515a.html> (дата обращения: 27.02.2015)
- 7 Архитектура оффлоада трафика мобильных данных через сети стандарта Wi-Fi // Интернет-страница проекта «Wi-Life.Team», URL: <http://www.wi-life.ru/stati/wi-fi/tehnicheskie-statii/mobile-data-offload-architecture-via-sp-wifi> (дата обращения: 15.05.2015)
- 8 Коньшин С.В. Подвижные телекоммуникационные радиосистемы: Учебное пособие. - Алматы: АИЭС, 2003.
- 9 Lee W.C. Y. Mobile cellular telecommunications systems. - Howard W. Sam's & Co., 1989.
- 10 Masaharu Hata. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services// IEE Tr. VT-29. - №3. - 1980. - P.
- 11 Лившиц Б.С., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика М.: Связь, 1979.
- 12 ETSI Recommendation ETS 300 527, “Handover procedures (GSM 03.09)”, February 1995.
- 13 Быков Р.Н. Исследование возможности разгрузки сетей сотовой связи с использованием технологии WiFi Offload и Femto сетей // Международный Научно-Педагогический Журнал.- Алматы: ВШК №4, 2014г.

Приложение А Используемые программы

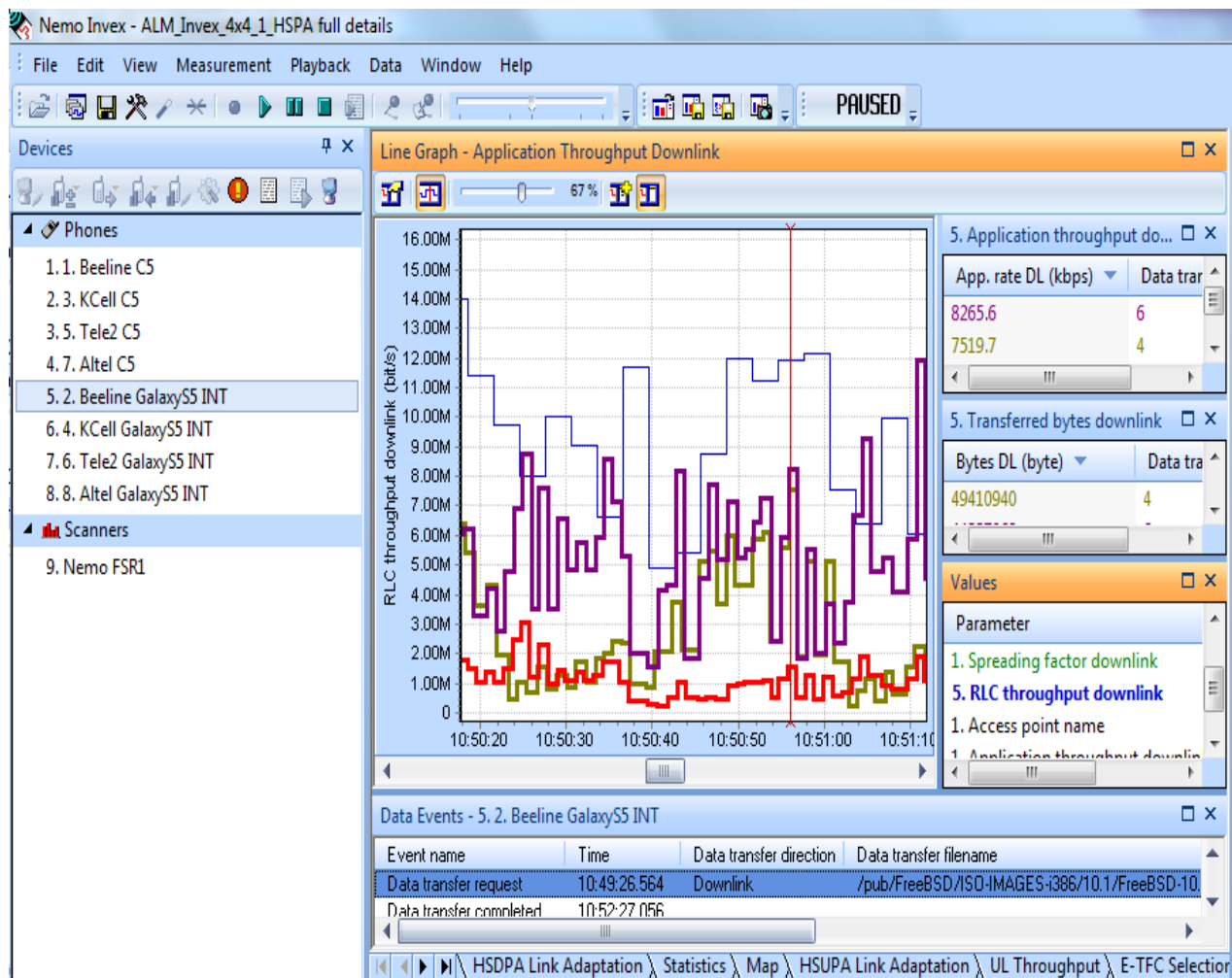


Рисунок А.1 - Скриншот окна программы Nemo Inven

Приложение Б Используемые программы

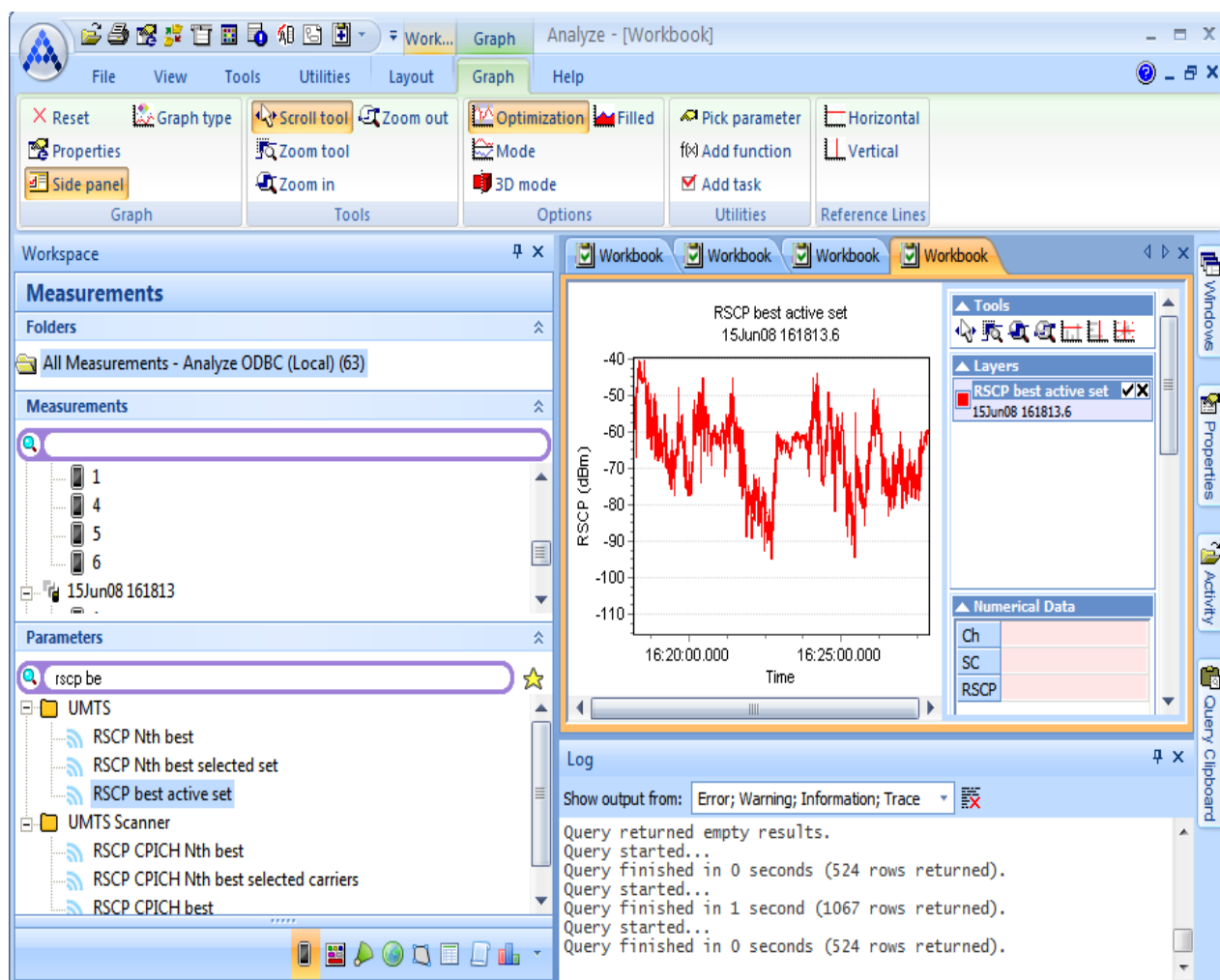


Рисунок Б.1 - Скриншот окна программы Nemo Analyze

