

Некоммерческое акционерное общество  
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

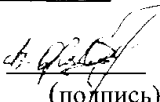
Кафедра «Телекоммуникационные системы»

Специальность 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
Зав. кафедрой  
к.т.н., Шагиахметов Д.Р.  
(ученая степень, звание, ФИО) (подпись)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.


МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ  
пояснительная записка

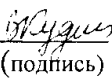
на тему: «Исследование вопросов качества обслуживания QoS в  
беспроводных сетях»

Магистрант Бекбатыров К.О.  группа НПм-12-1  
(Ф.И.О.) (подпись)

Руководитель к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Есеркегенов А.С.  
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Консультант по ВТ к.х.н., ст. препод.  Данько Е.Т.  
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ ст. препод.  Кудинова В.С.  
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Алматы, 2014

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

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

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Бекбатырову Куандыку Оразбайулы  
(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации: «Исследование вопросов качества обслуживания QoS в беспроводных сетях»

утверждена Ученым советом университета № 142 от «31» 10.2013г.

Срок сдачи законченной диссертации «25» 05.2014г.

Цель диссертационной работы: повышение криптографической стойкости алгоритма шифрования передаваемой информации

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

- 1) провести анализ существующих стандартов беспроводной связи;
- 2) определить механизмы качества обслуживания для беспроводных сетей связи;

3) выбрать технологию, на основе которой будет проходить исследование механизмов QoS;

4) провести моделирование беспроводной сети и осуществить анализ параметров качества.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Перекрытие по совмещенному каналу

Работа в период, свободный от конкуренции

Архитектуры сетей радиодоступа RAN для передачи трафика в сетях 2G, 3G и LTE

Конфигурация параметров QoS

Значения полосы пропускания для классов QoS

Параметры задержки, рисунок 3.6 – Параметры джиттера

Доля потерянных пакетов

Доля распределения полосы пропускания в зависимости от приоритета

Схема работы симулятора QoS

Зависимость потерянных пакетов от общего числа переданных

Рекомендуемая основная литература:

1. Развертывание сетей WIMAX. <http://bestreferat.ru/referat-141911.html>

2. А.В. Рашич. Сети беспроводного доступа. <http://bib.convdocs.org/v31957/?download=1#1>.

3. Д. Молта. Обеспечение QoS в беспроводных ЛВС. [http://www.ccc.ru/magazine/depot/05\\_05/read.html?0102.htm](http://www.ccc.ru/magazine/depot/05_05/read.html?0102.htm)

4.С. Сюваткин, В.И. Есипенко WiMAX - технология беспроводной связи: теоретические основы, стандарты, применение. Санкт-Петербург. 2005 г.

5. В. Вишневский, С. Портной, И. Шахнович. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. Техносфера, 2009.

6. А. Весоловский, Н. Кшиштоф. Системы подвижной радиосвязи. Горячая линия - Телеком, 2006.

7. В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Распаев. Сети и системы радиодоступа. Эко-Трендз, 2005.

**Г Р А Ф И К**  
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1 Информационный анализ механизмов качества обслуживания в беспроводных сетях	01.10.2012	10%
2 Создание модели для проведения эксперимента на базе программы OpNet	14.03.2013	20%
3 Экспериментальное исследование параметров качества обслуживания QoS в беспроводной сети на базе WiMax	02.10.2013	20%
4 Исследование влияния параметров задержки на качество обслуживания	20.02.2014	20%
5 Анализ полученных экспериментальных и расчетных данных	02.04.2014	20%
7 Оформление диссертационной работы	25.05.2014	10%

Дата выдачи задания \_\_\_\_\_ 05.09.2012 г. \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись)

Шагиахметов Д.Р.  
(Ф.И.О.)

Руководитель диссертации \_\_\_\_\_  
(подпись)

Есеркегенов А.С.  
(Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению магистрант \_\_\_\_\_  
(подпись)

Бекбатыров К.О.

## **Аңдатпа**

Бұл магистерлық диссертация сымсыз байланыстардағы қызмет көрсетудің сапасын қамтамасыз ету әдістерін зерттеуге бағытталған.

зерттеу жұмысының актуальдылығы сымсыз байланыс жүйелерінің жедел дамуы мультимедиалық трафиктарды жіберу мүмкіндіктерін тудырып, сәйкесінше байланыс сапасын арттырудың жана әдістерін ойлап табуды қажет ететіндігінде болып табылады.

Зерттеу барысында WiMax технологиясының базасындағы сымсыз байланыс жүйесін, OpNet бағдарламалық продуктты арқылы моделдеу өткізіліп, одан әрі байланыс сапасының басты параметріне анализ жүргізілді.

зерттеу жұмыстарының нәтижелері бойынша, сымсыз байланыстармен трафик жіберу барысында, қызмет көрсетудің заманауи әдістері қажет деген қорытынды жасауға болады.

## **Аннотация**

Данная магистерская диссертация посвящена исследованию методов обеспечения качества обслуживания в беспроводных сетях.

Актуальностью исследования заключается в том, что быстрое развитие систем беспроводной связи ведет к возможности передачи мультимедийного трафика, а следовательно, необходимо разработать новые методы повышения качества передачи.

В ходе исследования произведено моделирование беспроводной сети на базе технологии WiMax с помощью программного продукта OpNet, а так же осуществлен анализ основных параметров качества.

По результатам исследования можно сделать вывод, что необходимы современные методы обеспечения качества обслуживания при передаче трафика по беспроводным сетям.

## **ABSTRACT**

This Master's thesis is devoted to research methods to ensure the quality of service in wireless networks.

TOPICAL study is that the rapid development of wireless communication systems leads to the possibility of transmission of multimedia traffic, and hence it is necessary to develop new techniques for improving transmission quality.

The study produced modeling services Wireless network based on WiMax technology using software OpNet, as well as analyzes the key quality parameters.

According to the study it can be concluded that requires sophisticated methods to ensure quality of service when traffic over wireless networks.

## Содержание

Введение .....	10
1 Понятие качества обслуживания в беспроводных сетях .....	12
1.1 Задачи по достижению заданного QoS в сетях стандарта 802.11 .....	12
1.2 Приложения, требующие QoS .....	13
1.3 Факторы, влияющие на качество обслуживания в беспроводных сетях .....	14
1.3.1 Влияние на QoS полудуплексной среды .....	14
1.3.2 Перекрытие по совмещенному каналу .....	14
1.3.3 Скрытый узел .....	15
1.4 Обзор механизмов QoS в беспроводных сетях .....	16
1.4.1 Механизм классификации и пометки трафика .....	17
1.4.2 Доступ к каналу для дифференцированного трафика .....	17
1.4.3 Механизм управления входом при использовании EDSF .....	19
1.4.4 HCF с работой в режиме поочередного доступа .....	20
1.4.5 Работа HCF в период, свободный от конкуренции .....	20
1.4.6 Взаимодействие EDCF и HCF .....	21
1.4.7 Управление входом с HCF .....	21
1.5 Анализ стандартов, обеспечивающих качество обслуживания в беспроводных сетях .....	25
1.5.1 Стандарт WMM (Wireless Multimedia) .....	25
1.5.2 Технология SVP (SpectraLink Voice Priority) .....	27
1.5.3 Приоритизация трафика на базе идентификатора пользователя или сети ESSID .....	28
2 Обзор стандартов беспроводной сети .....	29
2.1 LTE или Long Term Evolution .....	29
2.1.1 Общая структура сети LTE .....	30
2.2 Технология Wi-Fi .....	35
2.3 Технология WiMAX .....	43
2.3.1 Сравнение ключевых технологий WiMAX и LTE .....	47
2.3.2 Сравнение ключевых технологий WiMAX и Wi-Fi .....	49
3 Экспериментальная часть .....	51
3.1 Описание модели QoS стандарта IEEE 802.16 .....	51
3.2 Моделирование сети WiMax .....	54
3.2.1 Обработка результатов моделирования .....	56
3.3 Моделирование параметров QoS с помощью планировщика .....	59
3.3.1 Реализация симулятора .....	60
Заключение .....	64
Список литературы .....	65

## Введение

На сегодняшний день беспроводная сеть внедряется во все сферы жизни, позволяет использовать без физических ограничений как сканеры штрих-кодов, персональные цифровые помощники (PDA), сервисы Web или электронной почты, а так же при развертывании беспроводной LAN (WLAN) обеспечивает поддержку услуг IP-телефонии (VoIP) и передачи видеоданных через беспроводную среду. Наряду с этим обеспечить высокое качество обслуживания QoS чувствительного к задержкам трафика в беспроводных сетях довольно сложная задача. Усложняется это тем, что беспроводные сети имеют относительно небольшую пропускную способность, а возможность ее значительного увеличения отсутствует, а так же интенсивность трафика в такой сети непредсказуема.

Главными проблемами, стоящими перед механизмом реализации заданного качества обслуживания в беспроводных сетях являются [1]:

- наличие полудуплексной среды передачи;
- перекрытие по совмещенному каналу BSS;
- наличие скрытых узлов.

В беспроводной сети доступ к среде получают не только станция и точка доступа, но и клиенты между собой, что приводит к уменьшению пропускной способности среды по сравнению с дуплексным режимом.

Перекрытие по совмещенному каналу (cochannel overlap) часто происходит в беспроводных LAN диапазона 2,4 ГГц, если они имеют более трех точек доступа. Из-за того что в этом диапазоне можно разместить лишь три неперекрывающихся канала, некоторые точки доступа работают вблизи соседних точек доступа на одном и том же канале. Перекрытие по совмещенному каналу может нарушить работу механизмов QoS из-за увеличения конкуренции за среду в беспроводных сетях и клиент не сможет получать потенциально важный для него трафик [2].

Проблема скрытого узла усложняет обеспечение высокого качества связи в беспроводных сетях в целом. Использование сообщений готовности к передаче/готовности к приему (RTS/CTS) для резервирования среды имеет целью решение проблемы скрытого узла, но сообщения RTS/CTS применяются после обнаружения коллизии и после соответствующего возврата к исходному состоянию. Увеличенная задержка влияет на работу чувствительных к задержкам приложений. Устройства, использующие сообщения (RTS/CTS) при передаче каждого фрейма, также приводят к ухудшению характеристик из-за большого избыточного трафика, сопровождающего каждый фрейм данных.

Решением вышеизложенных проблем в области обеспечения качества передачи в беспроводных сетях является улучшение MAC уровня на основе внедрения механизмов гибридной функции координации (hybrid coordination function, HCF) с работой в режиме конкуренции. Так же для достижения высокого качества обслуживания при передаче голоса и видео в беспроводной

сети одним из компонентов QoS является осуществление механизма классификации трафика, пометки его соответствующим значением качества связи (QoS), дифференцирование и приоритезация трафика, основывающийся на значении QoS, а так же механизм обеспечения доступа к каналу для дифференцированного трафика.

В нынешнее время механизм приоритезации трафика позволяет на основе идентификатора пользователя или сети (ESSID) использовать ресурсы беспроводной сети. Данный механизм не решает всех проблем, связанных с обеспечением QoS, но его просто реализовать. Так же проблема приоритезации решается в рамках фирменной технологии SVP (SpectraLink Voice Priority). Она гарантирует SVP-совместимым IP-телефонам первоочередной доступ к среде передачи. Большинство производителей инфраструктурного оборудования для беспроводных сетей реализовали поддержку этой технологии в своих устройствах [3].

Таким образом, актуальность данного исследования заключается в возможности обеспечения качества сервиса в беспроводных сетях.

Целью диссертации является исследование вопросов качества обслуживания QoS в беспроводных сетях. Для осуществления данного исследования используется планировщик QoS eXtended Network Simulator (XNS), предназначенный для тестирования работы алгоритмов обеспечения качества сервиса.

В результате исследования предстоит решить следующие задачи:

- провести анализ существующих стандартов беспроводной связи;
- определить механизмы качества обслуживания для беспроводных сетей связи;
- выбрать технологию, на основе которой будет проходить исследование механизмов QoS;
- провести моделирование беспроводной сети и осуществить анализ параметров качества.

## **1 Понятие качества обслуживания в беспроводных сетях**

### **1.1 Задачи по достижению заданного QoS в сетях стандарта 802.11**

Рабочая группа по вопросам беспроводных сетей 802.11 IEEE организовала такую исследовательскую группу стандарта 802.11e, чтобы произвести реконструкцию по улучшению уровня доступа MAC стандарта беспроводных систем серии 802.11 для обеспечения высокого качества обслуживания (QoS) и поддержания в должном качестве приложений, которые чувствительны к задержкам времени, таких как передача голоса и видео. Новые поколения потребителей данных услуг рассматривают беспроводные устройства стандарта 802.11 как устройства, которые могут заменить аналогичные проводные. Кабельные или спутниковые приемники со временем обеспечат передачу сигналов телевидения высокой четкости (HDTV) по стандарту 802.11 с использованием обычного телевизора. Так же и цифровые устройства типа видеомэгнитофонов или пишущие DVD-приводы так же в скором времени перейдут на данный стандарт. Данные услуги можно будет реализовать в любом жилом доме, где технология стандарта серии 802.11 будет использоваться в домашней сети взамен проводных устройств, начиная с DVD-проигрывателя и спутниковой тарелки и заканчивая телевизором. Новые области для применения технологии беспроводной связи стандарта типа 802.11 требуют эффективного механизма обеспечения качества обслуживания QoS, которые будут обеспечивать приоритет передачи данных, которые чувствительны к задержкам (таких как аудио- и видеоданные), по отношению, например, к электронной почте и просмотру Web-страниц. Прерывание просмотра любого фильма из-за пришедшей одновременно электронной почты или необходимый доступ в сеть Internet, вызвало бы недовольство.

Сети стандарта типа 802.11 применяются для узкополосных, нечувствительных к задержкам приложений. Для устройств, таких как, сканеры штрих-кодов, персональные цифровые помощники (PDA), сервисы Web или электронной почты беспроводные сети можно использовать без физических ограничений, которые могут быть вызваны кабелями сети передачи данных или вовсе потерей передаваемой информации.

Высокое качество обслуживания зачастую характерно для зрелых технологий, которые применяются уже долгое время в проводных сетях с оборудованием доступа - маршрутизаторами, коммутаторами или оконечными устройствами. Для беспроводных же сетей стандарта типа 802.11 основная проблема состоит в создании эффективных механизмов реализации заданного качества обслуживания.



## 1.2 Приложения, требующие QoS

Предприятия, использующие технологию IP-телефонии и передачу голосового трафика сталкиваются с проблемами качества обслуживания. Инфраструктура WLAN позволяет свести к минимуму данные вопросы, так как имеет свои внутренние механизмы обеспечения заданного качества.

Беспроводные голосовые VoIP-системы помогают в работе в любой сфере, особенно когда сотрудник находится в командировках и не имеет постоянного фиксированного доступа к средствам связи. Пользование услугами операторов связи бывает достаточно дорогостоящим, и чтобы снизить затраты на потребление услуг и передачу данных можно воспользоваться беспроводным стандартом сети. Тогда опять поднимается вопрос о качестве и механизмах, которое может предложить тот или иной производитель беспроводного оборудования.

Механизмы QoS необходимы как для организации гостевого доступа к сетям предприятия, так и для постоянных пользователей. С их помощью сотрудникам можно предоставить любой приоритет, например, предпочтительный перед ее постоянными посетителями.

Но кроме рынка корпоративных локально-вычислительных сетей, существует еще и рынок бытовой электроники, на котором беспроводные устройства Wi-Fi пользуются большим спросом.

Их применение не ограничивается применением в локальной сети предприятия. Их можно применять и для создания беспроводной сети в жилых домах, торговых центрах, административных учреждениях и т.д.

Механизмы QoS, которые определяют приоритет трафика, позволяют пользователям любых сети распределять свою полосу пропускания в нужных размерах и для нужных пользователей. Механизмы качества обслуживания QoS дают возможность обеспечить работу мультимедийных приложений, которые передают оцифрованный мультимедийный контент между различными системами связи. Такие приложения получают широкое распространение на сегодняшний день.

В корпоративной локальной сети обеспечить механизмы QoS достаточно сложно, из за большего масштаба и емкости сети. Поскольку стандарты на механизмы качества QoS разрабатываются достаточно медленно, то некоторые организации реализовали собственные сетевые решения, которые обеспечивают требуемую полосу пропускания их приложениям. Например, в отдельных больницах были развернуты инфраструктуры, поддерживающие все три основных стандарта на локально-вычислительную сеть типа 802.11a, 802.11b и 802.11g; которые имели 5-ГГц средства стандарта 802.11a использовались для передачи данных, а 2,4-ГГц системы стандартов типа 802.11b и 802.11g использовались для передачи голосовой связи.

## **1.3 Факторы, влияющие на качество обслуживания в беспроводных сетях**

### **1.3.1 Влияние полудуплексной среды на параметры QoS**

Стандарт серии 802.11 относится к стандарту, в котором реализовано совместное использование полудуплексной среды. В большинстве проводных сетей типа Ethernet, которые обеспечивают более высокое качество обслуживания, реализована полнодуплексная среда с использованием распределенной функции координации (DCF) и точечной функции координации (PCF). Данные механизмы позволяют одновременно осуществлять передачу только одной передающей станции, в качестве которой могут выступать либо точка доступа либо клиентская станция. Проводная сеть Ethernet, работающая по стандарту серии 802.3х в полнодуплексном режиме, позволяет создать канал связи по типу соединения "точка-точка" между устройствами сети Ethernet, то есть станциями, что позволяет осуществить одновременную передачу и прием фреймов данных. Такая технология позволяет Ethernet-среде увеличивать свою нормальную полосу пропускания почти в 2 раза. Станция, передающая данные, не вступает в коллизию со станцией, которая находится на противоположном конце канала и также в данный момент времени собирающейся передавать данные.

Такой сценарий противоположен сценарию в сетях стандарта беспроводного доступа типа 802.11. За право доступа к передающей среде борются не только станция и точка доступа, но и клиенты между собой. Механизм точечной функции координации позволяют реализовать идею последовательного опроса, когда точка доступа может действовать как точка координации и опрашивать каждого клиента на предмет того, нужно ли ему что-то передать в определенный момент времени. При небольшом количестве клиентов, которые обслуживает станция BSS, данная методика очень актуальна, но приводит к уменьшению пропускной способности среды передачи по сравнению с обычными методами доступа, которые основаны на конкуренции в режиме распределенной функции координации. При отсутствии современных и действенных механизмов координации моментов времени передачи информации между клиентами и установления приоритета между ними, поставщики услуг должны приложить большие усилия, чтобы обеспечить качественную работу таких чувствительных к задержкам приложений, как IP-телефония и непосредственно передача мультимедия.

### **1.3.2 Перекрывание по совмещенному каналу**

Перекрывание происходит по совмещенному каналу (cochannel overlap) в беспроводных локальных сетях с частотой в диапазоне 2,4 ГГц, при условии наличия более трех точек доступа. В данном диапазоне возможно разместить только три типа каналов, которые не будут перекрываться между собой, поэтому некоторые точки доступа, которые, особенно, работают вблизи соседних точек доступа на одном и том же канале могут быть перекрыты. На

рисунке 1.1 показан клиент, находящийся в зоне перекрытия по совмещенному каналу.

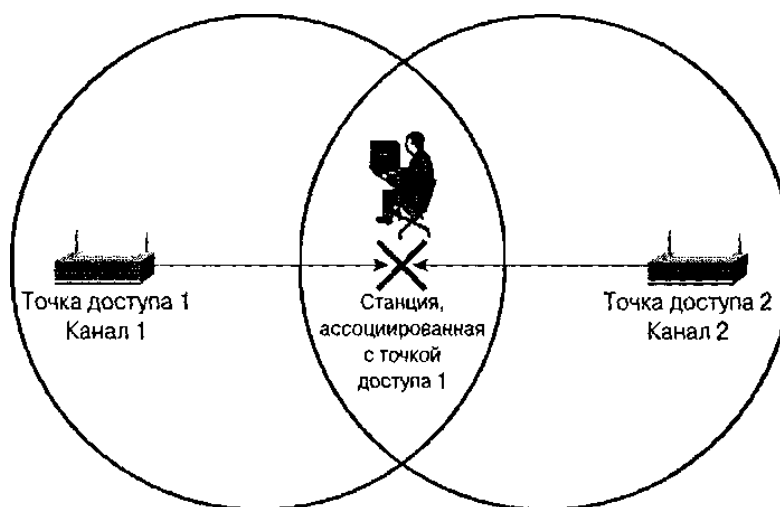


Рисунок 1.1 – Перекрытие по совмещенному каналу

Если две точки доступа начнут одновременную передачу, то фреймы начнут вступать в коллизию и данные станции должны будут освободить среду и повторить передачу.

Если в передающей станции BSS имеется энергосберегающая станция, то все ширококвещательные и многоадресатные фреймы, которые посылаются после сигнального фрейма, будут содержать карты маршрутов трафика (DTIM beacon). Зачастую, все точки доступа, которые входят в расширенную зону обслуживания (ESS), имеют одинаковый сигнальный интервал и одинаковый интервал рассылки DTIM. Если внутренние таймеры соседних точек доступа, которые используют совмещенный канал, будут срабатывать одновременно, то обе данные станции рассылают ширококвещательный и многоадресатный трафик одновременно, чем вызывая коллизии фреймов в зоне данного перекрытия, из-за чего, находящийся в данной зоне перекрытия клиент может пропустить данные фреймы. Перекрытие по совмещенному каналу нарушает работу механизмов качества обслуживания QoS из-за увеличения конкуренции за среду в сетях стандарта беспроводных сетей типа 802.11, и может привести к тому, что клиент не сможет получать потенциально важный для него трафик.

### 1.3.3 Проблема скрытого узла

Существует в системе передачи и приема трафика беспроводных сетей проблема имеющая скрытый узел, что значительно осложняет обеспечение должного качества обслуживания в беспроводных сетях. Использование сообщений типа готовности к передаче/готовности к приему (RTS/CTS), которые, сначала, осуществляют резервирование среды решают проблему скрытого узла, но использование сообщений типа RTS/CTS так же

применяются наряду с резервированием, только уже после обнаружения самой коллизии и после соответствующего возврата к исходному состоянию. Данные механизмы увеличивают задержку, тем самым, влияя на работу чувствительных к задержкам приложений. Устройства, которые используют передачу сообщений типа RTS/CTS, так же приводят к ухудшению характеристик качества из-за большого избыточного трафика, которым сопровождается каждый фрейм переданных или принимаемых данных.

#### 1.4 Обзор механизмов QoS в беспроводных сетях

Исследовательская группа 802.11e обсуждала многие проблемы, включая описанные в предыдущем разделе. Она предложила два возможных решения для уровня MAC будущих сетей стандарта 802.11. Примите во внимание, что спецификации предложенные еще не утверждены и в них быть внесены могут изменения. Текущие решения, предложенные группой 802.11e таковы:

- гибридная функция координации (hybrid coordination function, HCF) с работой в режиме конкуренции. Чаще это решение называют расширенная распределенная функция координации (enhanced DSF, EDSF);
- HCF с работой в режиме поочередного доступа;
- HCF в режиме конкуренции — механизм доступа EDSF.

В проекте спецификации стандарта 802.11e сделана попытка разбить все данные на восемь классов. EDSF и HCF в режиме поочередного доступа используют эти восемь классов, называемые классы трафика (traffic classes, TC), соотношение которых с восемью классами, определенными в стандарте 802.1D, представлено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Соответствие классов трафика категориям доступа

ТС по стандарту 802.1 D	Описание	АС и очередность передачи
1	Низкий приоритет	0
0	Низкий приоритет	0
2	Наибольшее благоприятствование (best effort)	0
3	Сигнализация/контроль	1
4	Видеозондирование (video probe)	2
5	Видео	2
6	Голос	3
7	Управление сетью	3

Трафик от обеспечивающих качество клиентов связи разделен на большие четыре категории, категории называемого доступа (access

categories, AC). Категории доступа 0—3 указывают на приоритет классов стандарта 802.1D.

Любая система, обеспечивающая высокое качество, нуждается в трех основных компонентах:

- механизм классификации трафика;
- механизм пометки трафика соответствующим значением качества связи (QoS);
- механизм дифференцирования и приоритезации трафика, основывающийся на значении QoS.

#### 1.4.1 Механизм классификации и пометки трафика

Механизм классификации и пометки фреймов данных не подпадает под действие проекта документа 802.1ie, но можно предположить, что приложение (такое как обеспечивающее передачу речи и установленное в телефоне стандарта 802.11) должно по крайней мере отметить биты приоритета IP-дейтаграммы или использовать код указателя дифференцированной службы (differentiate services code point, DSCP). Не бояться ошибиться, так же можно предположить, что данные клиентские устройства будут преобразовывать данные значения третьего уровня в такие классы, к которым можно применить передачу трафика стандарта типа 802.11e. Имея классифицированный и снабженный метками трафик стандарта типа 802.11 можно не обеспечивать механизмы дифференциации и приоритезации передаваемый трафик.

#### 1.4.2 Метод доступа к каналу для дифференцированного трафика

После классифицирования трафика и помещения его в соответствующую очередь, следующим шагом является передача фреймов. Данная проблема затрудняется тем, что необходимо обеспечить приоритизацию передачи фреймов для таких клиентских устройств, которые не связаны непосредственно друг с другом. Принцип EDSF позволяет найти решение данной проблемы, путем ввода нескольких новых концепций и реализуя новые функции:

- благоприятной возможности для передачи (transmit opportunity, TROP). TROP — это такая концепция, при которой станция начинает передачу фреймов и продолжит делать это в течение определенного времени. В отличие от такого доступа к среде, где использован механизм DCF, где каждый такой фрейм передачи и сопровождающее подтверждение его конкурируют к среде за доступ, механизм TXOP обеспечить который может передачу многих фреймов/подтверждений сразу, главное — чтобы умещались они в период TXOP (таблица 1.2).

- арбитражный промежуток межфреймов (arbitration interframe space, AIFS). Метод AIFS аналогичен промежутку IFS межфреймов, но размер IFS в зависимости изменяется от категории доступа (AC). Этот процесс возможность дает станциям с приоритетом более высоким более короткие

AIFS использовать, а низкоприоритетным станциям дает возможность использовать более AIFS длительные. Чем AIFS короче, тем шансы выше для получения доступа первоочередного к каналу.

Некоторые концепции уже известные используются по-другому. Значения конкуренции окна  $CW_{min}$  и  $CW_{max}$  для каждой DCF-станции устанавливаются и изменяются при повторных попытках доступа к каналу. В EDSF случае различные AC предполагают и значения различных параметров  $CW$ , что шансы повышает для станций высокоприоритетных на доступ к среде первоочередный.

В таблице 1.2 приведены устанавливаемые по умолчанию параметры, такие как ширина окна конкуренции ( $CW$ ), AIFS и TXOP для каждой категории доступа (AC).

Таблица 1.2 – Параметры доступа к среде для различных категорий доступа

AC	$CW_{min}$	$CW_{max}$	AIFS	Предельный TXOP (802.11b)	Предельный TXOP (802.11a/g)
0	Стандартное 802.11 $CW_{min}$	Стандартное 802.11 $CW_{max}$	2	0	0
1	Стандартное 802.11 $CW_{min}$	Стандартное 802.11 $CW_{max}$	1	3,0 мс	1,5 мс
2	$((CW_{min} + 1)/2) - 1$	Стандартное 802.11 $CW_{min}$	1	6,0 мс	3,0 мс
3	$((CW_{min} + 1)/4) - 1$	$((CW_{min} + 1)/2) - 1$	1	3,0 мс	1,5 мс

Категория доступа AC(0) классифицируется как трафик имеющий благоприятствования наибольшего (best effort traffic), поэтому параметры ее соответствуют приблизительно стандартным DCF значениям, за DIFS исключением, который имеет значение равное DIFS + канального интервала, 1. Обратите внимание также на то, что длительности значение предельной TXOP, равное 0, указывает на то, что быть может передан один только фрейм.

Станция доступа категории AC(1), т.е. с несколько высоким более приоритетом, имеет параметры такие же к среде доступа, как DSF-станция 802.11 стандарта, за исключением TXOP длительности, которая передать позволяет фреймов несколько и подтверждений.

Станция доступа с категорией AC(2) имеет широкое окно конкуренции, чем категорий станции с меньшим приоритетом, и более TXOP длительный. Чтобы проиллюстрировать влияние менее окна широкого конкуренции, отметим следующее.

По умолчанию значение начальное  $CW_{min}$  обычно составляет 7 интервалов канальных. DCF-станция образом случайным выбирает значение передачи отсрочки между 0 и  $CW_{min}$  (в данном случае 7) и его использует для значения инкрементирования счетчика. Для доступа категории AC(2) значение  $CW_{min}$  с 7 до 3 уменьшается. Станция такая может значение выбирать отсрочки передачи между 0 и 3, т.е. окно временное будет уже

гораздо. Значение  $CW_{max}$  изменяется также, теперь используется для него значение  $CW_{min}$ , равное 7. В данном случае, после того как отказалась станция от передачи и окно ее конкуренции достигло  $CW_{max}$  значения, она инкрементировать будет оставшееся счетчика значение быстрее намного.

Станция доступа с категорией AC(3) имеет узкое самое окно конкуренции из категорий всех, для нее характерен самый также короткий предел TXOP длительности. Фреймы доступа с категорией AC(3) — это фреймы обычно управления сетью или для передачи речи используемые, они по объему невелики и много "эфирного времени" не требуют для передачи успешной.

Каждая из доступа категорий поддерживается QoS обеспечивающей станцией или доступа точкой. Возможно, что несколько или две станций в коллизию вступят. Станция с категорией менее приоритетной доступа случайно может выбрать отсрочку короткую и в коллизию вступить со станцией, имеющей категорию более высокую. В этом случае высокоприоритетной станции фрейм имеет преимущество, и станция низкоприоритетная будет освободить вынуждена среду и ширину увеличить своего окна конкуренции.

#### 1.4.3 Механизм управления входом при использовании EDSF

Целью мер, в обеспечение принимаемых QoS, является трафика защита приложений высокоприоритетных от влияния низкоприоритетных трафика приложений. Например, QoS защищает от фреймов VoIP-фреймы почтового протокола Internet (POP3). В случаях, ресурсы когда сети ограничены (это относится напрямую к WLAN 802.11 стандарта), оказаться может защищать необходимым трафик одних приложений высокоприоритетных от трафика высокоприоритетных других приложений. Может это странным показаться, но конкретный рассмотрим пример. Допустим, что возможно в BSS проведение одновременное не более чем разговоров шести (при использовании IP-телефонии). Любой с данными трафик, попытается который использовать передачи среду, иметь будет ниже приоритет, чем VoIP-трафик, поэтому разговоров участники пользоваться будут правом передачи первоочередной, без фазовых накопления искажений, и смогут общаться плодотворно.

Пусть в BSS теперь делается телефонный звонок седьмой. Независимая зона базовая обслуживания поддерживать способна шесть только звонков, в то же время приоритезации механизм позволить должен начаться разговору телефонному, поскольку трафик его относится к высокоприоритетным. Хотя начнется разговор, он повлияет негативно на идущие уже шесть телефонных разговоров, качество связи поэтому для всех будет низким семи разговоров.

Механизм управления входом (admission control) решить призван проблему эту. Точно так же QoS как защищает трафик высокоприоритетный от низкоприоритетного, управления технология входом высокоприоритетный трафик защищает от высокоприоритетного. Механизм управления входом

наличные ресурсы сети отслеживает и разрешает "интеллектно" или новые сеансы отклоняет связи приложений.

Расширенная распределенная функция координации (EDSF) использует схему управления входом, название получившую распределенное управление входом (distributed admission control, DAC). Механизм DAC на высоком уровне функционирует, отслеживание осуществляя и измерение использования среды в доли процентах, на каждую приходящейся категорию доступа. Неиспользуемая доля способности среды пропускной называется бюджет наличный (available budget) для категории данной. О наличном бюджете станциям сообщается в элементе информационном (IE) QoS параметра, в сигнальных фреймах содержащемся точки доступа. Если начинает бюджет к нулю приближаться, станции, инициировать пытающиеся потоки новых приложений, делать это избегают, и узлам существующим не приходится или увеличивать или ТХОР расширять, они которые уже используют. Данный процесс защищает информационные потоки существующие приложений от влияния со стороны потоков новых.

#### 1.4.4 HCF с работой в режиме поочередного доступа

Работа HCF аналогична работе точки координации функции. Точка доступа логический объект (logical entity) содержит, называемый гибридный координатор (hybrid coordinator, HC), отслеживает который потоки клиентских станций информации HCF и интервалы назначает опросов. Получение доступа опроса HCF в результате позволяет требовать станции нужный ТХОР ей, а не определять просто, какой доступен из них, как в случае EDSF использования. Работа HCF, в сочетании с HCF управлением входом, гибриднему координатору позволяет определить "интеллектно", ресурсы какие доступны беспроводной среды, и либо принять либо отклонить трафика приложения информационные потоки. HCF функционировать может в двух режимах, один из них с EDSF сосуществует, а второй период использует, от конкуренции (CFP) свободный, PCF аналогично.

#### 1.4.5 Работа HCF в период, свободный от конкуренции

Работа в период HCF, от конкуренции свободный, состоит в следующем (рисунок 1.2):

- посылается фрейм сигнальный точки доступа, IE включающий, набор параметров устанавливающий точечной функции координации (PCF), в котором момент определяются начала и периода длительность, свободного от конкуренции (CFP).

- гибридный координатор (HC) поддерживающим механизм HCF предлагает ТХОР станциям, посылая QoS-фреймы им CF-Poll опроса.

- станции эти могут в течение интервала времени SIFS ответить фреймами данных (QoS Data) или QoS-фреймом нулевым, указывающим, что нет у станции трафика или что фрейм, который хотела она бы передать, велик



слишком для того, чтобы могла она сделать за время это, предоставленное ей в TXOP период.

– период, свободный от конкуренции, заканчивается, когда посылает HC фрейм конца этого CF-End периода или длительность CFP истекает.

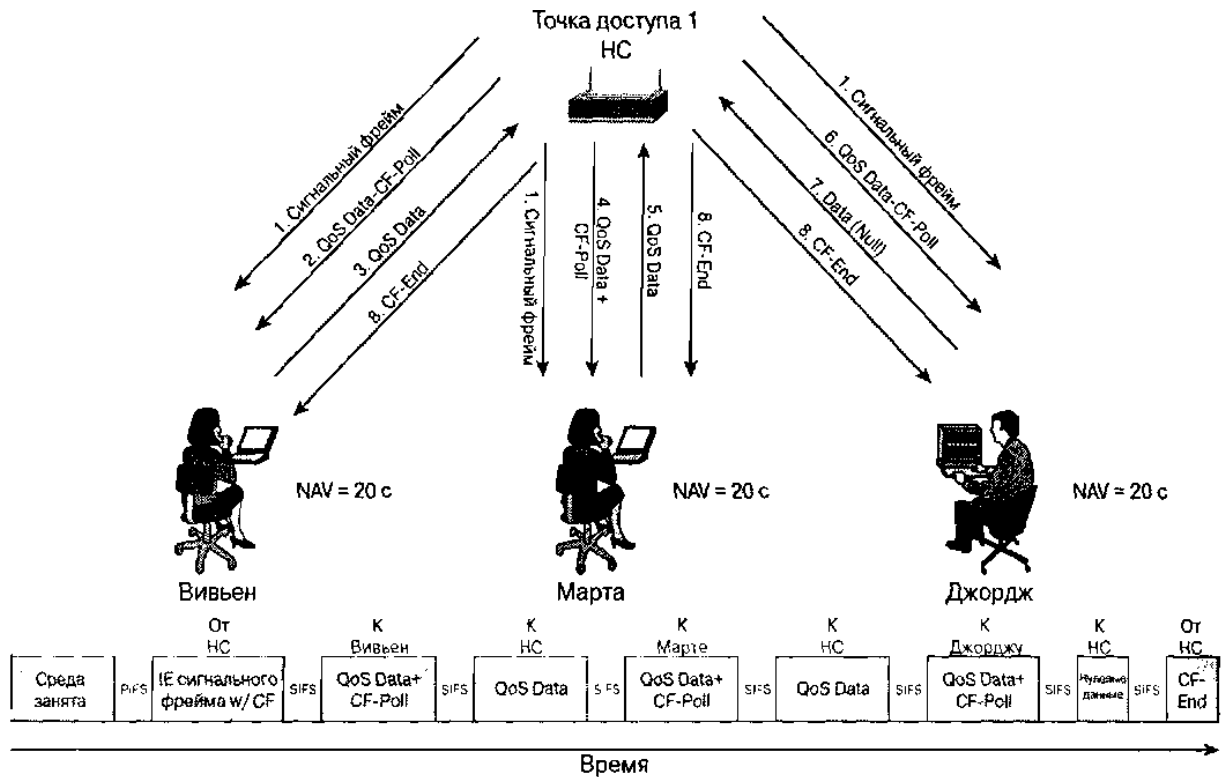


Рисунок 1.2 – Работа в период, свободный от конкуренции

#### 1.4.6 Взаимодействие EDCF и HCF

В отличие от работы в PCF режиме, доступ HCF в результате опроса иметь может место в период конкуренции и с режимом работы сосуществовать EDCF, а также с режимом DCF работы. Периоды TXOP опросов "распределяются" между опрашиваемыми HCF станциями и способствуют приему или передаче фреймов с данными при QoS обеспечении. HC получает к среде доступ раньше EDCF-станций, потому что выждать должен только в течение PIFS интервала, прежде чем доступ получить к среде.

#### 1.4.7 Управление входом с HCF

Что на самом деле отличает с доступом работу, HCF контролируемым, от EDCF — это HCF механизм управления входом. Использование EDCF механизма станциями распределенного управления входом (DAC) основано на том, что станции интерпретируют и соблюдают наличный бюджет для передачи, в наборе указываемый параметров информационного QoS элемента. А HCF требует, чтобы запрашивала станция частные параметры резервирования (particular reservation parameters) для трафика приложения информационного потока, такого как VoIP, от HC. Этот гибридный

координатор оценить должен и определить, имеет ли среда беспроводная бюджет достаточный для передачи информационного запрошенного потока. Затем должен принять НС, отклонить или даже предложить станции данной альтернативный параметров набор. Этот механизм выносливый намного и эффективный, чем DАC. Гибридный координатор строго должен соблюдать расписание потоков, информационных и в зависимости от НС реализации некоторые из них оказаться могут намного менее эффективными, чем другие.

Управление HCF входом концентрируется с параметрами спецификации на информационном элементе передачи (transmission specification IE), который называется также TSPEC. Элемент TSPEC позволяет станции клиентской указать следующие параметры:

- приоритет фрейма/потока стандарта 802.1D;
- размер фрейма;
- скорость передачи фрейма (например, количество пакетов в секунду);
- скорость передачи данных (например, в бит/с);
- задержку.

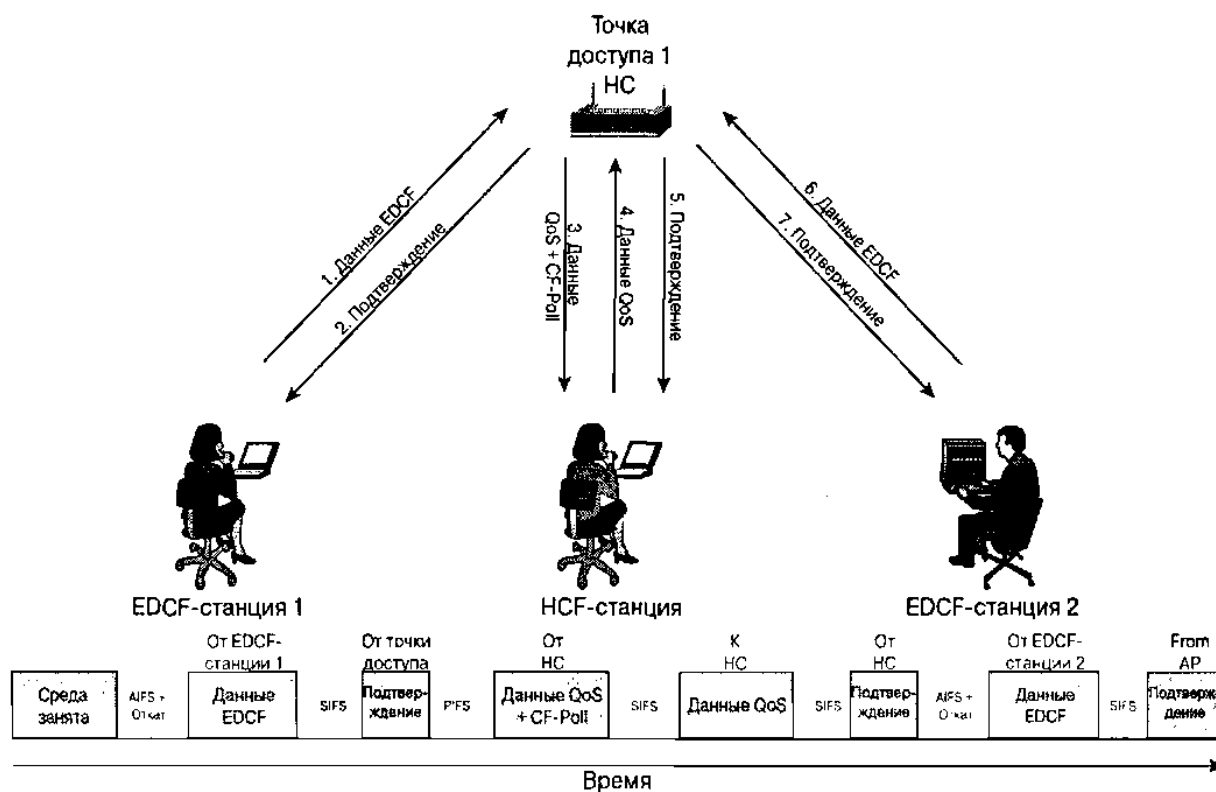


Рисунок 1.3 – Работа HCF в период конкуренции (совместно с EDCF)

На рисунке 1.4 представлен TSPEC информационный элемент в том виде, как определен он в проекте 4.0 802.11e стандарта

Эта информация НС необходима для определения, беспроводная среда может ли поддерживать информационные потоки существующие и вновь затребованный без ухудшения условий передачи поток для уже существующих потоков. Элемент TSPEC показывает также координатору гибридного, как часто предполагает станция быть опрашиваемой. Такая

должна станция генерировать TSPEC уникальный для каждого информационного потока, который стремится она передать и получить с приоритетом и для направления каждого потока (например, двунаправленный VoIP-разговор требует двух информационных потоков).



Рисунок 1.4 – Формат информационного элемента TSPEC

Гибридный координатор может также выполнить одно из трех действий после получения TSPEC:

- принять TSPEC и гарантировать прохождение нового информационного потока через беспроводную среду;
- предложить клиентской станции альтернативный набор параметров TSPEC;
- отклонить данный TSPEC.

Чтобы сценарий проиллюстрировать, когда станция какая-то TSPEC посылает, принимается который, предположим, что через доступа точку, через уже которую передача осуществляется трех телефонных разговоров, должен состояться один еще телефонный разговор, а также некоторый передаваться данных спорадический трафик. Спорадический данных трафик классифицируется как "трафик наибольшего благоприятствования", в то время как VoIP-трафик классифицируется как "высокоприоритетный".

VoIP-трафик от воздействия трафика данных защищен за счет порядка и частоты HCF опроса. Трафик этот защищен также от воздействия EDCF трафика, потому что использует он HC и ожидать должен к среде доступа только в течение PIFS интервала. EDCF-станции ожидать должны по крайней мере в течение DIFS интервала и, в некоторых случаях, одного еще канального интервала .

Процесс новой станции присоединения к BSS и передачи начала ее информационного потока ниже описан и представлен на рисунке 1.5:

- станция должна аутентифицироваться в BSS и ассоциироваться с ним;
- станция запрос посылает на вход, используя запрос на управляющее действие (management action (MA) request) для QoS, содержащий необходимый TSPEC ей для VoIP-разговора обеспечения. Необходимо указывать для каждого направления TSPEC, как к HC от клиента, так и от HC к клиенту. Клиент затребовать должен оба TSPEC;
- HC принимает TSPEC и отвечает станции ответом на MA для QoS;

- НС посылает TSPEC посредством фрейма CF-Poll с данными QoS;
- станция отвечает фреймом с данными QoS или последовательностью фреймов, в зависимости от длительности TXOP.

В некоторых случаях НС оказаться может не в состоянии поддержать TSPEC новый без ухудшения условий для существующих уже информационных потоков. Гибридный координатор опцию имеет, предложить позволяющую клиенту TSPEC альтернативный или вообще TSPEC отклонить. В случае первом происходят следующие события (рисунок 1.5):

- станция к BSS присоединяется, осуществив аутентификации и ассоциирования процедуры;
- станция запрос на вход посылает, используя МА запрос для QoS с указанием необходимого TSPEC для нее;
- гибридный координатор клиентской станции посылает МА-ответ, содержащий TSPEC альтернативный;
- если TSPEC альтернативный для клиента приемлем, продолжается процесс начиная с п.3 предыдущего сценария;
- если TSPEC альтернативный для клиента неприемлем, последний МА посылает для TSPEC аннулирования.

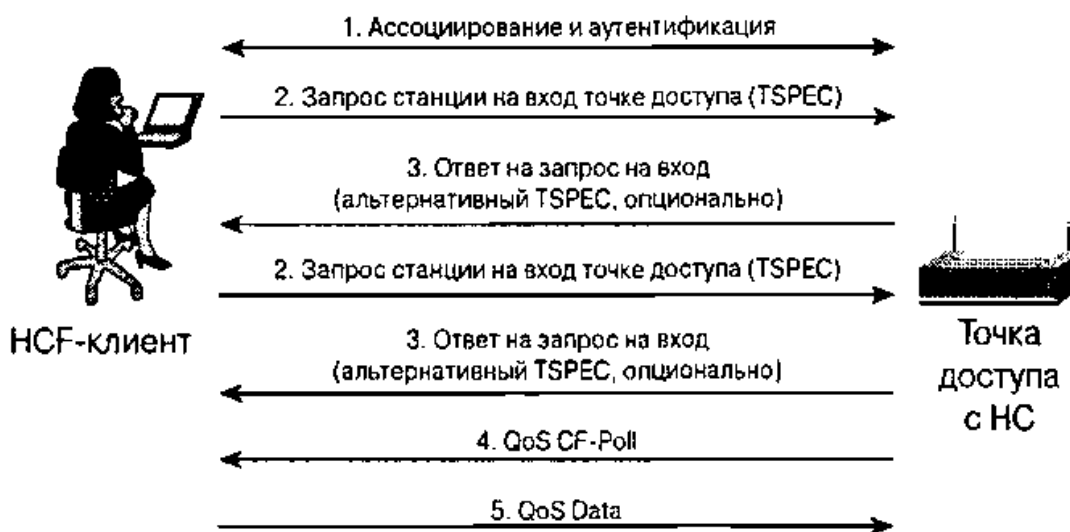


Рисунок 1.4 – Управляющие сообщения, посылаемые для получения права входа HCF

Если НС принять не может информационный поток, посылает он МА-ответ, TSPEC отклоняющий, и должна клиентская станция попытку повторить, модифицировав TSPEC запрашиваемый.

Информационные потоки удалены могут быть двумя способами:

- истекает тайм-аут TSPEC;
- станция или точка доступа явно удаляет TSPEC.

В случае TSPEC тайм-аута после периода тайм-аута определенного для завершения HC потока посылает клиентской станции MA для QoS с целью TSPEC удаления. Этот тайм-аут определяется во время опроса клиентской станции, когда отвечает она нулевыми QoS-фреймами после опросов нескольких в окне (within a set window), определяемом тайм-аута значением, заданным TSPEC. В случае, когда QoS-станция или HC поток желает "снести", MA-фрейм передается для TSPEC уничтожения гибридному координатору или клиентской станции соответственно.

Механизм распределенного управления входом еще все не обладает характеристиками нужными, потому что строгий контроль не осуществляет входа. Станции потенциально осуществлять могут передачу и тем самым влиять негативно на существующие уже информационные потоки. Решение, найдено может быть путем параметрического управления входами также и для EDCF (использовании TSPEC для приема или отказа в приеме трафика EDCF). HCF проблемы имеет свои. Сторонники превозносят достоинства доступа по опросу как панацею, обеспечивающую эффективное использование среды и почти гарантированное предоставление услуг. Противники полагают, что HCF на практике проявит плохо себя, как это случилось с PCF ранее, из-за перекрытия по совмещенному каналу, который является источником "головной боли" для пользователей 2,4 ГГц диапазона. Эффективность HCF снижается быстро при усилении перекрытия по совмещенному каналу. Хотя рабочая группа еще работу не закончила над 802.11e стандартом, продолжает она продвигаться в направлении создания практичного и эффективного набора инструментов для развития и распространения WLAN стандарта 802.11.

## **1.5 Анализ стандартов, обеспечивающих качество обслуживания в беспроводных сетях**

### **1.5.1 Стандарт WMM (Wireless Multimedia).**

Мультимедийные приложения требуют в беспроводной сети качества обслуживания (QoS), зависит от этого их функциональность.

QoS позволяет в беспроводных сетях точки доступа обеспечить для трафика приоритизации и оптимизирует для совместного выделения путь сетевых ресурсов между приложениями различными. Без QoS качества обслуживания приложения все, работающие на устройствах разных равные имеют возможности для передачи данных кадров.

Эта концепция работает хорошо для трафика данных для приложений таких, как веб-браузеры, для файлов передачи, или электронной почте, но совершенно для приложений мультимедийных. Передача голоса не подходит по интернет-протоколу (VoIP), видео потоковое, интерактивные игры и другие, чувствительные очень приложения к задержкам, требуют поддержки QoS качества обслуживания.

Чтобы удовлетворить потребность эту, компания Wi-Fi Alliance набор правил создала типа WMM (Wireless Multimedia) для совместимости механизмов обеспечения в беспроводных сетях QoS. Он является подмножеством спецификаций 802.11e стандарта. WMM определяет четыре категории доступа (голоса, видео, Best Effort, и фона), используют которые для трафика приоритеты, так что приложения эти имеют доступ к сети необходимой ресурсов. Кроме того, функция WMM одновременно с беспроводной сети поддержкой заключается в поддержке устройств устаревших, не имеют которые совместимости с концепцией WMM. Спецификация WMM передавать позволят устройству с тем же приоритетом.

Программа сертификации для всех доступна новых устройств беспроводных. Существующие устройства беспроводные могут так же получать программного обеспечения обновления.

Сертификация в беспроводной сети не является обязательным компонентом для стандарта WMM, так как не все должны клиенты иметь QoS возможности. Wi-Fi Alliance в тесном сотрудничестве работает с органами промышленными стандартизации для широкого внедрения обеспечения WMM стандарта в устройствах новых как бытовой электроники, так и мультимедийных приложениях новых.

Для того чтобы функциональностью WMM воспользоваться в беспроводных сетях, выполнить необходимо три требования:

- 1) иметь беспроводную точку доступа для WMM с QoS поддержкой;
- 2) клиент (устройство), поддерживать должен беспроводный доступ для WMM;
- 3) исходное приложение поддерживать должно WMM.

Интерес и спрос на беспроводные мультимедийные приложения с возможностями расширенными растет быстро, а так же использование новых устройств растет с поддержкой услуг беспроводных. Чтобы функциональность расширить сетей своих, необходимо должно качество обеспечить предоставляемых услуг.

На потребительском рынке, голос поверх интернет-протокола (VoIP), потоковое видео, музыка, интерактивные игры одними из самых востребованных приложений являются. На любом предприятии и в общественных сетях, поддержка VoIP в реальном времени, потокового аудио поддержка и видео контента использовать позволяет беспроводную сеть и их использовать владельцам инфраструктуру существующих уже беспроводных сетей, чтобы более богатый предложить и более разнообразный услуг набор.

Качество обслуживания (QoS), для поддержки необходимые мультимедийных приложений и управление движением передовые. WMM приоритетные возможности добавляет QoS для сетей беспроводных и их оптимизирует производительность, когда приложений несколько, одновременно используется, и с разными каждое задержками и пропускной способностью. При варианте таком конкурировать необходимо сетевые ресурсы. С WMM помощью это возможным стало. Удовлетворение конечного

пользователя поддержки путем более широкого разнообразия трафика и сред. WMM владельцам позволяет домашней сети и сети предприятия решить какие данные потоки наиболее являются важными или их назначить при необходимости приоритет.

Компания Wi-Fi Alliance представляет WMM концепцию как вариант нового IEEE 802.11e стандарта и начал программу сертификации стандарта данного в сетях беспроводных для WMM и для удовлетворения наиболее насущных пользователей потребностей для решения QoS проблем в беспроводных сетях. В добавлении к IEEE 802.11 спецификации 802.11e стандарт, разрабатывается в настоящее время и будет в себя включать QoS поддержку для беспроводных сетей. Разработка 802.11e проекта началась в 1999 году еще, и закончить планировалось к 2005 году.

Сертификация для WMM не является обязательным для беспроводной сети продуктов, так как приложения не должны все поддерживать качество QoS обслуживания, но продукты те, предлагают которые QoS использование необходимо, чтобы сертифицированы были для WMM.

WMM обеспечивает доступ средств приоритетный массовой информации и основывается на методе канала доступа (EDCA). Он определяет четыре приоритетные классы (голоса, видео, данные и фон), чтобы управлять трафиком от различных приложений.

#### 1.5.2 Технология SVP (SpectraLink Voice Priority)

На сегодняшний день SVP технология стала фактически для БЛВС стандартной, но в компании SpectraLink осознают хорошо, что широко используемой стать больше шансов у технологии той, не принадлежит которая к какому-либо производителю одному. Поэтому компания поддерживает проводимую в IEEE институте работу по улучшению MAC-уровня сетей 802.11 стандарта в целях QoS обеспечения. Ожидается, что проблемная IEEE 802.11e группа, приступившая к разработке стандарта на QoS функциональность примерно пять лет назад, наконец-то выпустит его в этом году.

Технология SVP обеспечивает QoS путем определения нулевого значения времени отсрочки передачи (back-off value) для голосовых пакетов, что и им дает приоритет по сравнению с пакетами обычными данных. Однако, если множество IP-телефонов передавать попытаются одновременно данные, коллизии возникнут. Еще один недостаток технологии данной в том заключается, что, если IP-телефонов число велико в соте, могут они "монополизировать" полосу ее пропускания и передачу парализовать трафика обычного данных. Чтобы не произошло этого, число трубок в одной соте быть должно не больше 12. В технологии SVP предусмотрена и приоритизация передаваемых точкой доступа голосовых пакетов (по соответствующему обозначению типа протокола в IP-заголовке), для чего в ней образуются очереди пакетов с разными уровнями приоритета.

### 1.5.3 Приоритизация трафика на базе идентификатора пользователя или сети ESSID

Производители для БЛВС инфраструктурного оборудования, включая компании Airespace, Cisco Systems и Colubris Networks, предлагают фирменные QoS механизмы. В них происходит приоритизация трафика на базе идентификатора пользователя или сети (ESSID).

Недавно в лаборатории Real-World журнала Network Computing, расположенной в Сиракузском университете, была протестирована технология компании Colubris, регулирующая QoS на базе ESSID. В компании данную технологию называют "осведомленной об услугах" (service-aware). Были связаны три ноутбука Dell Latitude, оснащенные встроенными сетевыми адаптерами 802.11b стандарта, с сетью Ethernet лаборатории через точку доступа Colubris CN320. Для передачи файлов этим клиентским машинам была задействована программа NetIQ Chariot. Как и следовало ожидать, разделили они доступную полосу пропускания поровну примерно; каждый продемонстрировал из ноутбуков пропускную способность около 1,6 Мбит/с. Затем реконфигурировали точку доступа для работы с несколькими идентификаторами ESSID и назначили им разные приоритеты. В результате этого машины, более высокий приоритет получившие, стали быстрее работать.

Данный механизм всех проблем не решает, с обеспечением связанных с QoS, но реализовать его просто. Совсем назначить несложно беспроводным телефонам идентификаторы ESSID и для них определить правила системной политики, обеспечат которые трафику их более приоритет высокий по сравнению с трафиком данных. Проблема заключается здесь в том, что могут ориентированные на точки доступа QoS-механизмы приоритизировать трафик, передаваемый точкой доступа, клиентским машинам или в проводную сеть, но не работают они на уровне радиоинтерфейса. Поэтому при БЛВС перегрузке беспроводные IP-телефоны могут и нужной полосы пропускания им не получить для передачи трафика точке доступа. Дело в том, что клиентские все устройства БЛВС одним и тем же правилам получения доступа следуют к среде передачи сигналов (протокол CSMA/CA), которые предоставляют равный, а не приоритетный доступ.



## 2 Обзор стандартов беспроводной сети

### 2.1 LTE или Long Term Evolution

3GPP Long Term Evolution (LTE) — название технологии мобильной передачи данных, разработанной консорциумом 3GPP (3rd Generation Partnership Project) необходимой для обеспечения полосы пропускания и качества обслуживания (QoS), чтобы приложения использовать, передачи требующие количества большого данных и информации, таких как MMS (сервис мультимедийных сообщений). LTE включает усовершенствованную систему пакетной передачи (EPS), которая из обновленной сети UMTS состоит наземного радиодоступа (E-UTRAN) и центра улучшенной пакетной коммутации (EPC) и передачу информации обеспечивает с большой пропускной способностью, задержками низкими и шириной полосы пропускания большой через упрощенную архитектуру IP. Также LTE мобильным провайдерам предлагает беспроводной широкополосный сервис нового поколения с уменьшенной стоимостью на мегабит. В дополнение, LTE был разработан специально для совмещенной работы со всеми сетями существующими как технология будущего, чтобы провайдерам мобильной связи помочь трансформировать свои сети в соответствии с потребностями завтрашней связи. Он более качественный сервис обеспечит для голосовой информации и для передачи данных.

С точки зрения сетевых технологий отличие главное инфраструктуры LTE от всех сетей сотовой связи предшествующих поколений в том состоит, что полностью она строится на базе IP-протокола – от абонентского терминала до узла предоставления сервисов или сервера приложений. В сетях 3G пользовательский трафик до контроллера (RNC) доходит, а данные и голос затем разделяются и направляются в свои «домены»: данные – в сеть передачи данных, а голос – в телефонную сеть, где используются технология коммутации каналов классическая и коммутатор MSC. В сети LTE на «домены» нет деления: и данные, и голос (упакованный в IP-пакеты), и все другие типы трафика через единое пакетное ядро передаются – Evolved Packet Core.

В основе LTE архитектуры плоская IP-сеть лежит. Соответственно, роли контроллера радиосети RNC (Radio Network Controller), узла поддержки GPRS SGSN (Serving GPRS Support Node) и шлюза поддержки GPRS GGSN (Gateway GPRS Support Node) между LTE ядром перераспределились и радиостанциями. Как на рисунке 1.2 показано, RNC функции в LTE сети перешли к eNB станциям [2]. Функции SGSN между модулем управления поделены мобильной связью MME (Mobility Management Entity), обрабатывает который управляющий трафик, и S-GW шлюзом (Serving Gateway), за пользовательский трафик отвечающий.

Новая, плоская IP-архитектура LTE сетей за собой влечет и ряд требований новых к транспортным сетям. Передача пакетов между

устройствами сети радиодоступа (MME, S/P-GW, eNES) на IP-адресации основана третьего уровня. Она различными осуществляется инфраструктурами нижнего уровня. Кроме того, LTE архитектура больше не является в строгом смысле слова топологией «точка-точка», как это было в сетях 2G. Сетям LTE более разнообразная связность необходима между элементами RAN сети. Плоская IP-архитектура и отсутствие BSC контроллера требуют внимания повышенного к безопасности транспортной сети из-за уязвимости мобильной сети ядра.

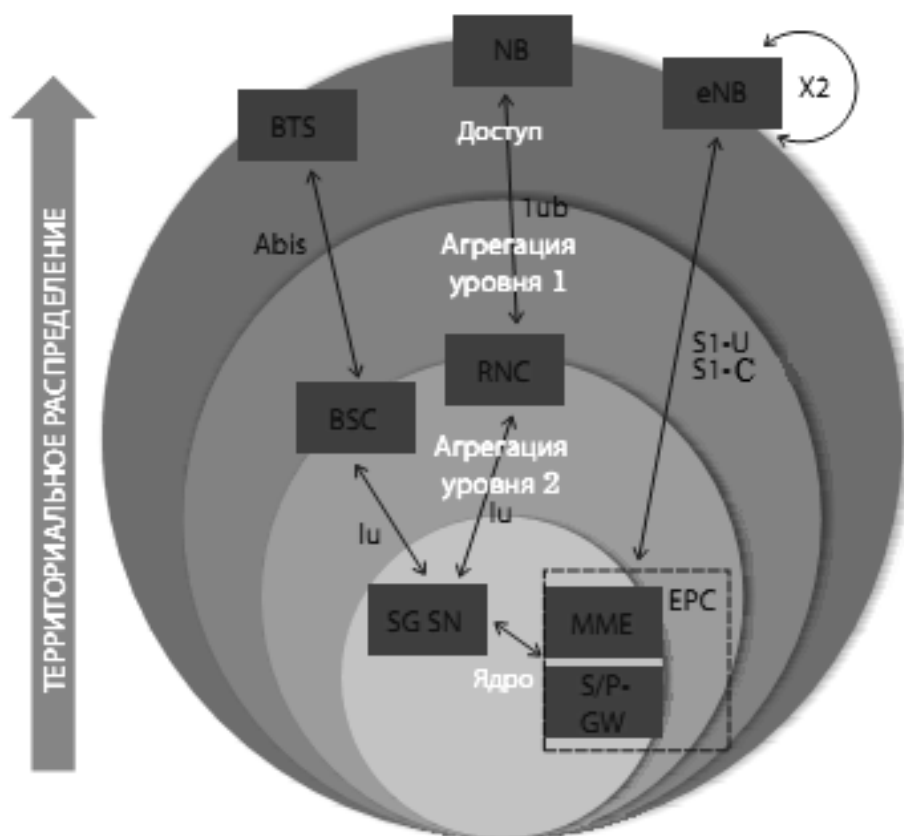


Рисунок 2.1 – Архитектуры сетей радиодоступа RAN для передачи трафика в сетях 2G, 3G и LTE

В этой новой архитектуре трафик весь передается по IP-протоколу. Поэтому вместо интерфейсов Abis и Iu GSM стандарта появляются интерфейсы новые - S1 и X2 (S1-u - интерфейс передачи пользовательских данных; S1-c – служебный интерфейс MME; X2 - физический интерфейс между базовыми станциями для обеспечения хэндовера).

### 2.1.1 Общая структура сети LTE

Архитектура LTE сети таким образом разработана, чтобы поддержку пакетного трафика обеспечить с «бесшовной» мобильностью, минимальными задержками доставки пакетов и высокими показателями качества

обслуживания. Мобильность как функция сети двумя видами её обеспечивается: дискретной мобильностью (роумингом) и непрерывной мобильностью (хэндовером). Поскольку LTE сети поддерживать должны процедуры роуминга и хэндовера со всеми сетями существующими, для LTE-абонентов (терминалов) обеспечиваться должно повсеместное покрытие услуг беспроводного широкополосного доступа.

Пакетная передача обеспечить позволяет услуги все, передачу включая пользовательского голосового трафика. В отличие от большинства сетей поколений предыдущих, в которых достаточно высокая разнотипность наблюдается и иерархичность сетевых узлов (так называемая распределённая сетевая ответственность), архитектуру LTE сетей можно назвать “плоской”, поскольку практически сетевое всё взаимодействие между двумя узлами происходит: базовой станцией (БС), в технических спецификациях которая называется В-узлом (Node-B, eNB) и блоком управления мобильностью БУМ (MME, Mobility Management Entity), реализационно, как правило, включающим и сетевой шлюз (GW, Gateway), т. е. имеют место комбинированные блоки MME/GW.

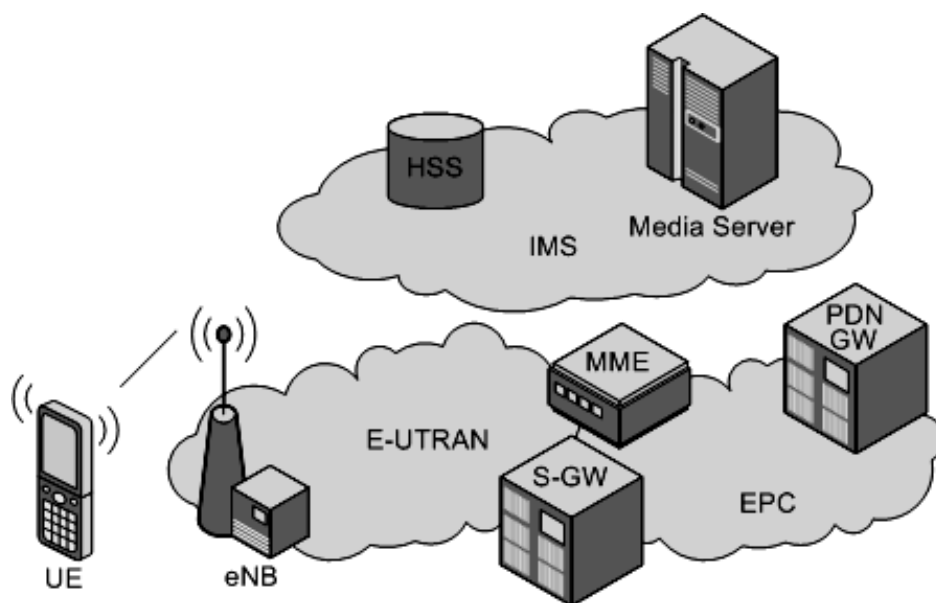


Рисунок 2.2 – Архитектура сети LTE

Отметим, что контроллер радиосети, весьма значительную роль игравший в сетях поколений предыдущих, устранён от управления потоком данных (фактически он даже отсутствует в структурных схемах), а его традиционные функции — радиоресурсами управление, заголовков сжатие, шифрование, надёжная доставка пакетов и др. непосредственно переданы БС. На рисунке 2.2 схема представлена LTE сети, из двух важнейших компонентов: E-UTRAN сети радиодоступа и SAE базовой сети (System Architecture consisting Evolution) [3].

ММЕ работает со служебной информацией только — так называемой сетевой сигнализацией, так что IP-пакеты, пользовательскую информацию содержащие, не проходят через него. Преимущество такого наличия отдельного блока сигнализации в том, что можно пропускную способность сети наращивать независимо как для пользовательского трафика, так и для служебной информации. Главной ММЕ функцией управление пользовательскими терминалами ПТ (UE – User Equipment) является, в режиме ожидания находящимися, перенаправление включая и исполнение вызовов, авторизацию и аутентификацию, роуминг и хэндовер, установление служебных и пользовательских каналов и др.

Среди сетевых всех шлюзов выделены два отдельно: обслуживающий шлюз ОШ (S-GW, Serving Gateway) и шлюз пакетной сети (P-GW, Packet Data Network Gateway), или пакетный шлюз (ПШ). S-GW как блок управления функционирует локальной мобильностью, принимая и пересылая пакеты данных, относящиеся к БС и UE им обслуживаемым. P-GW является интерфейсом между БС набором и внешними сетями различными, а также некоторые выполняет функции IP-сетей, такие, как распределение адресов, обеспечение пользовательских политик, маршрутизация, фильтрация пакетов и др.

Как и в большинстве сетей третьего поколения, в основу принципов построения сети LTE положено разделение двух аспектов: физической реализации отдельных сетевых блоков и функциональных связей между ними формирования. При этом задачи физической реализации решаются, исходя из концепции области (domain), а функциональные связи рассматриваются в рамках слоя (stratum).

Первичным на физическом уровне разделением является разделение сети архитектуры на пользовательского оборудования область (UED, User Equipment Domain) и сетевой инфраструктуры область (ID, Infrastructure Domain). Последняя, в свою очередь, на подсеть разделяется радиодоступа (E-UTRAN, Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) и базовую (пакетную) подсеть (EPC, Evolved Packet Core).

Пользовательское оборудование — это UE совокупность с различными уровнями функциональных возможностей, сетевыми абонентами используемых для доступа к LTE-услугам. При этом в качестве пользовательского терминала фигурировать может как реальный “живой” абонент, пользующийся, к примеру, голосового трафика услугами, так и обезличенное устройство, предназначенное для передачи/приёма определённых сетевых или приложений пользовательских.

На рисунке 2.3 обобщённая структура показана LTE сети, из которой видно двух слоёв функциональных связей наличие: слоя радиодоступа (AS, Access Stratum) и внешность слоя радиодоступа (NAS, Non-Access Stratum).

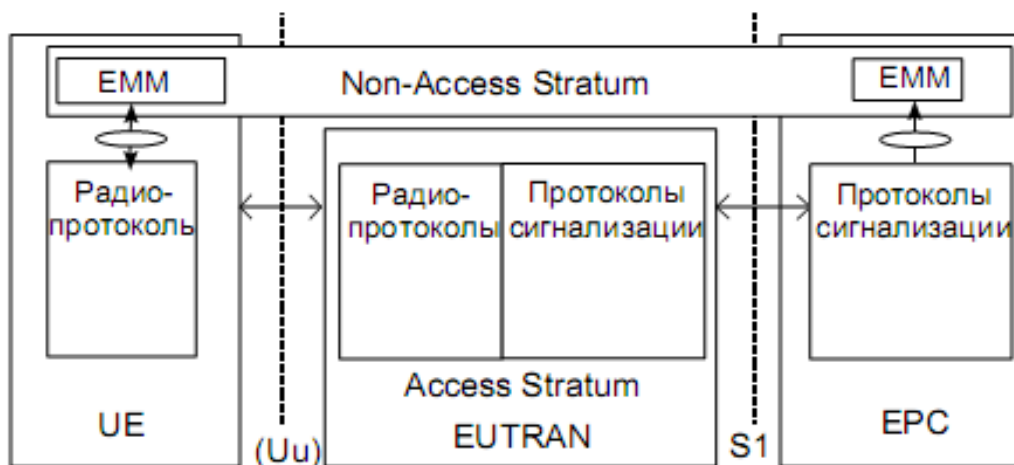


Рисунок 2.3 – Обобщённая структура сети LTE

Стык между UE областью пользовательского оборудования и областью радиодоступа EUTRAN сети называется Uu-интерфейсом; стык между областью сети радиодоступа и областью базовой сети EPC – S1-интерфейсом. Состав и функционирование различных протоколов, относящихся к интерфейсам Uu и S1, разделены на две так называемых плоскости: пользовательскую плоскость (UP, User Plane) и плоскость управления (CP, Control Plane).

Вне слоя доступа механизмы действия управления мобильностью в сети базовой (EMM, EPC Mobility Management).

Благодаря интерфейсу S1 базовые станции с несколькими узлами MME/UPЕ соединены, что более гибко позволяет использовать сетевой ресурс. Такой интерфейс называют S1-flex.

LTE - это глубокое изменение, знаменующее переход от систем CDMA (WCDMA) к системам OFDMA, а также переход от систем с коммутацией каналов к системе e2e IP (коммутации пакетов). Проблемы перехода на LTE необходимость включают в новом спектре для преимуществ получения от широкого канала. Кроме того, абонентские устройства требуются, одновременно способные работать в LTE и 3G сетях (рисунок 2.4) для перехода плавного абонентов сетям от старых к новым.

Наилучшим вариантом для тех операторов, располагают которые уже построенными 2G и/или 3G/UMTS сетями, построение является конвергентной 2G/3G/LTE сети с единым управлением и поддержкой плавных хэндоверов без прерывания сервисов.

Для такой сети построения быть доступны должны в конвергентном варианте основные все составляющие сети:

- конвергентные мультистандартные BTS;
- конвергентная транспортная сеть;
- конвергентный O&M (эксплуатация и обслуживание);
- конвергентные услуги.

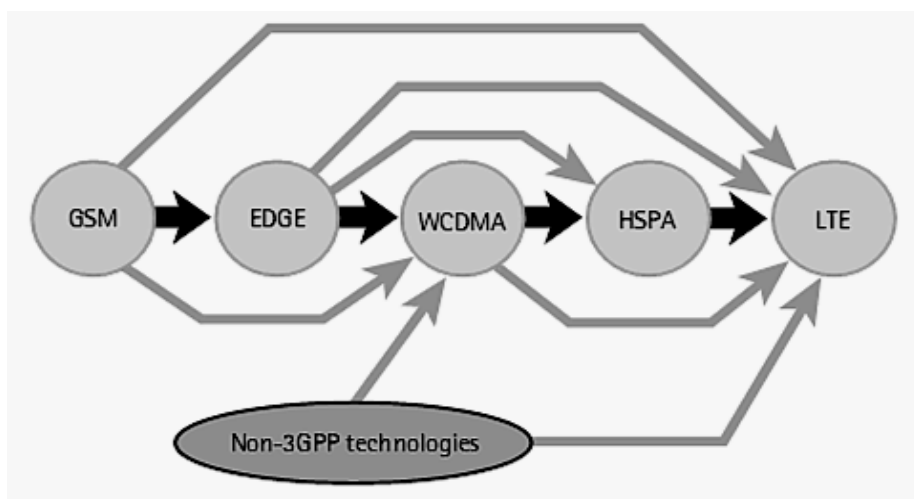


Рисунок 2.4 – Тенденции слияния в сетях LTE и 3G

Первые, предварительные характеристики LTE были получены в ходе разработки спецификации 3GPP Release 7, затем Release 8 (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Основные параметры LTE, закрепленные в спецификации 3GPP Release 8

Название параметра	Параметр
Uplink (UL): восходящее соединение	DFTS-OFDM
Downlink (DL): нисходящее соединение	OFDM
Ширина частотного диапазона, МГц	1,4; 3, 5; 10; 15; 20
Минимальный интервал между кадрами, мс	1
Шаг (частотный интервал) между поднесущими, кГц	15
Стандартная длина префикса CP, мкс	4,7
Увеличенная длина префикса CP, мкс	16,7
Схемы модуляции (Uplink)	BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM
Схемы модуляции (Downlink)	QPSK, 16QAM, 64QAM
Пространственное мультиплексирование	Один канал для UL-трафика на каждый абонентский терминал; До 4 каналов для DL-трафика на каждый абонентский терминал; MU-MIMO с поддержкой для восходящего (UL) и нисходящего (DL) соединений

В зависимости от того, сетью (сетями) какой располагает уже оператор, варианты возможны размещения оборудования, как с использованием

имеющихся стоек (кабинетов), так и с применением выносных устройств и распределенной архитектуры.

## 2.2 Технология Wi-Fi

Wi-Fi (от английского wireless fidelity - беспроводная связь) – стандарт широкополосной беспроводной связи 802.11 семейства и для организации используется беспроводных сетей локальных компьютерных, а также так называемых горячих точек создания высокоскоростного доступа в Интернет.

Стандарт IEEE 802.11 подразделяется на IEEE 802.11a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, n.

IEEE802.11a - стандарт беспроводных локальных сетей, на беспроводной передаче данных основанный в диапазоне 5 ГГц. Диапазон на три непересекающихся поддиапазона разделён. Максимальная скорость обмена составляет данными 54 Мбит/с, при этом также скорости доступны 48, 36, 24, 18, 12, 9 и 6 Мбит/с.

IEEE802.11b - стандарт беспроводных локальных сетей, на беспроводной передаче данных основанный в диапазоне 2,4 ГГц. Во всём диапазоне три непересекающихся канала существует, то есть на одной территории, друг на друга не влияя, работать могут три различные беспроводные сети. В стандарте два типа модуляции - DSSS и FHSS предусмотрено. Максимальная скорость работы 11 Мбит/с составляет, при этом также скорости 5,5, 2 и 1 Мбит/с доступны.

IEEE802.11b+ - улучшенная версия 802.11b стандарта в отдельных производителей исполнении, повышение скорости обмена данными обеспечивающая. Отличается в интерпретации компании Texas Instruments от оригинального варианта модуляцией PBCC (Packet Binary Convolutional Coding), удвоенной максимальной скоростью (до 22 Мбит/с). Также решения анонсировались с производительностью, увеличенной до 44 Мбит/с.

IEEE802.11g - беспроводных локальных стандарт сетей, на беспроводной передаче данных основанный в диапазоне 2,4 ГГц. Диапазон на три непересекающихся канала разделён, то есть на одной территории, друг на друга не влияя, работать могут три различных сети беспроводных. Для скорости обмена данными увеличения при канала ширине, схожей с 802.11b, метод модуляции применен с ортогональным частотным мультиплексированием (OFDM, Ortogonal Frequency Division Multiplexing), а также метод двоичного пакетного свёрточного кодирования PBCC (Packet Binary Convolutional Coding).

IEEE802.11e (QoS, Quality of service) – дополнительный стандарт, обеспечить позволяющий гарантированное качество обмена данными путём приоритетов перестановки различных пакетов; для работы необходим таких потоковых сервисов как VoIP или IP-TV.

IEEE802.11i - стандарт, недостатки устраняющий в области безопасности предыдущих стандартов. 802.11i проблемы защиты данных уровня канального и создавать позволяет безопасные беспроводные сети любого практически масштаба.

IEEE802.11n - стандарт беспроводных сетей локальных последнего поколения, на беспроводной передаче данных основанный в диапазоне 2,4 ГГц. Стандарт 802.11n превышает значительно по скорости обмена данными стандарты предыдущие вроде 802.11b и 802.11g, скорость на уровне обеспечивая Fast Ethernet; совместим обратно с 802.11b и 802.11g. Основное отличие от версий Wi-Fi предыдущих – добавление к физическому уровню (PHY) поддержки протокола MIMO (multiple-input multiple-output).

Широкого применения практического достигли IEEE 802.11b и IEEE 802.11g – именно сети такие и подразумеваются при упоминании слова Wi-Fi в первую очередь.

Для Wi-Fi построения сети используются Wi-Fi-адаптеры и точки доступа. Адаптер представляет собой устройство, через слот подключающееся расширения PCI, PCMCIA, CompactFlash. Существуют также адаптеры через порт USB 2.0 с подключением. Wi-Fi-адаптер ту же функцию выполняет, что и сетевая карта в сети проводной. Он для подключения компьютера пользователя служит к сети беспроводной. Благодаря Centrino платформе современные все ноутбуки встроенные адаптеры Wi-Fi имеют, совместимы которые со многими стандартами современными. Wi-Fi-адаптерами, как правило, и КПК снабжены (карманные персональные компьютеры), что также подключать позволяет их к сетям беспроводным. Для доступа к беспроводной сети адаптер устанавливать может связь с другими адаптерами непосредственно. Такая сеть беспроводной одноранговой называется сетью или Ad Hoc (в переводе «к случаю»). Адаптер также может устанавливать через специальное устройство связь – точку доступа. Такой режим инфраструктурой называется.

Для выбора способа подключения адаптер быть настроен должен либо на Ad Hoc использование, либо инфраструктурного режима.

Точка доступа автономный модуль представляет собой со встроенным микрокомпьютером и приемно-передающим устройством. Через точку доступа взаимодействие осуществляется и обмен информацией между беспроводными адаптерами, а также проводным сегментом сети связь. Таким образом, точка доступа роль играет коммутатора. Точка доступа сетевой интерфейс имеет (uplink port), при помощи которого точка эта быть подключена может к проводной сети обычной. Через интерфейс этот же осуществляться может и настройка этой точки. Точка доступа использоваться может как для подключения к ней клиентов (базовый режим точки доступа), так и для взаимодействия с точками доступа другими для распределенной сети построения (Wireless Distributed System, WDS). Это режимы беспроводного моста «точка-точка» и «точка-много точек», беспроводный клиент и повторитель. Доступ к сети путем передачи широкополосных



сигналов обеспечивается через эфир. Принимающая станция получать может сигналы работы в диапазоне нескольких передающих станций. Станция-приемник идентификатор зоны обслуживания использует (service set indentifier, SSID) для фильтрации сигналов получаемых и выделения того, который нужен ей. Зоной обслуживания (service set, SS) логически сгруппированные устройства называются, подключение обеспечивающие к сети беспроводной.

Базовая зона обслуживания (basic service set, BSS) – это группа станций, одна с другой связывающихся по связи беспроводной. Технология BSS наличие предполагает особой станции, называется которая точкой доступа (access point).

Схема доступа с помощью перечисленных устройств выше показана на рисунке 2.5.

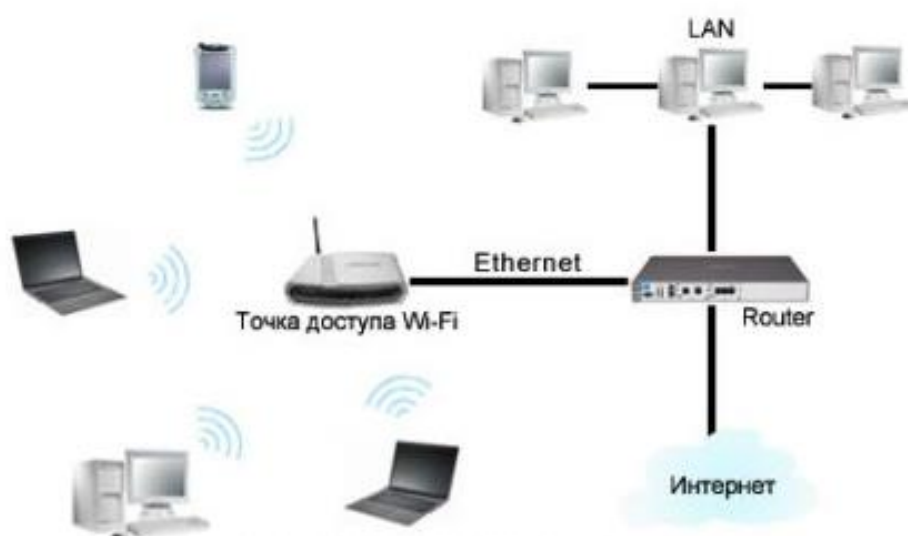


Рисунок 2.5 – Схема организации WI-FI доступа

Первая Wi-Fi - 802.11 спецификация передачу сигнала на выбор тремя различными способами предусматривала. В двух из них радиочастоты использовались в диапазоне от 2400 МГц до 2483 МГц, в частности, один основывался на методе частотных скачков FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), а другой - на методе прямой последовательности DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). В третьем же инфракрасный диапазон задействовался, между точкой доступа причем и клиентами прямой видимости не требовалось, так как сигнал должен передаваться был отраженным от потолка.

В 802.11b спецификации от трех методов остался всего один - DSSS. А для 802.11a стандартов и 802.11g был новый метод избран - OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), сигнал при этом расщепляется на множество меньших, пересылаются которые одновременно по нескольким частотам. При этом 802.11a спецификация отличается от остальных всех тем, что другой диапазон частот задействуется: 5150-5825 МГц.

Еще одной Wi-Fi особенностью является то, что спектр весь используемых частот разделяется условно на несколько каналов (узких полос частот), перекрывающих частично друг друга.

Для Wi-Fi всех 802.11 спецификаций максимальное находится расстояние уверенного приема сигнала в районе 300-400 метров для открытых помещений, и для закрытых - 90 метров. Данное ограничение строгим не является, и при направленных антенн использовании, прямой в случае видимости, поймать возможно сигнал на расстоянии нескольких порядка километров. Впрочем, рассчитывать не стоит на то, что максимальная скорость передачи данных обеспечиваться будет расстоянию на любом - при отдалении пропускная способность от точки доступа пропорционально снижается расстоянию.

Стандарт 802.11 IEEE на двух нижних уровнях модели ISO/OSI работает: физическом и канальном. Другими словами, использовать Wi-Fi оборудование просто так же, как и Ethernet: протокол TCP/IP поверх протокола накладывается, передачу информации описывающего по каналу связи. Расширение 802.11b IEEE канальный уровень не затрагивает и вносит изменения в 802.11 IEEE на физическом уровне только.

Формат информационного кадра 802.11 показан на рисунке 2.6.



Рисунок 2.6 – Формат информационного кадра 802.11

Двухоктетное поле кадра управления имеет 11 субполей. Субполе «версия протокола» двум протоколам позволяет работать в пределах ячейки одной. Поле «тип» разновидность задает кадра (информационный, служебный или управляющий), а «субтип» (RTS, CTS или ACK). Биты к DS и от DS на направление указывают транспортировки кадра: к межсетевой системе (например, Ethernet или от нее). Бит MF на то указывает, что следует далее один еще фрагмент. Бит «повтор» повторно отмечает посылаемый фрагмент. Бит «управление питанием» базовой станцией используется для переключения в режим пониженного энергопотребления или для выхода из этого режима. Бит «продолжение» о том говорит, что у отправителя еще кадры имеются для пересылки. Бит W указателем является использования шифрования в теле кадра согласно алгоритму WEP (Wired Equivalent Protocol).

Однобитовое поле «0» приемнику сообщает, что кадры с этим битом (=1) обрабатываться должны строго по порядку.

Поле «длительность» время передачи кадра задает и его подтверждение. Это поле присутствовать может в служебных кадрах. Именно с учетом этого поля станции признаки NAV выставляют. Заголовок четыре адреса содержит. Это адрес отправителя и получателя, а также адреса ячейки отправителя и места назначения. Поле «номер» для нумерации фрагментов служит. Из 16 бит номера 12 идентифицируют кадр, а 4 - фрагмент. Управляющие кадры сходный формат имеют, только отсутствуют там поля базовых станций, так как кадры эти пределов сотовой ячейки не покидают. В служебных кадрах поля данные и номер отсутствуют, здесь ключевым является содержимое поля субтип (RTS, CTS или ACK).

Режимы Wi-Fi и их особенности при организации. В режиме Ad Hoc (рисунок 2.) клиенты связь устанавливают непосредственно друг с другом.

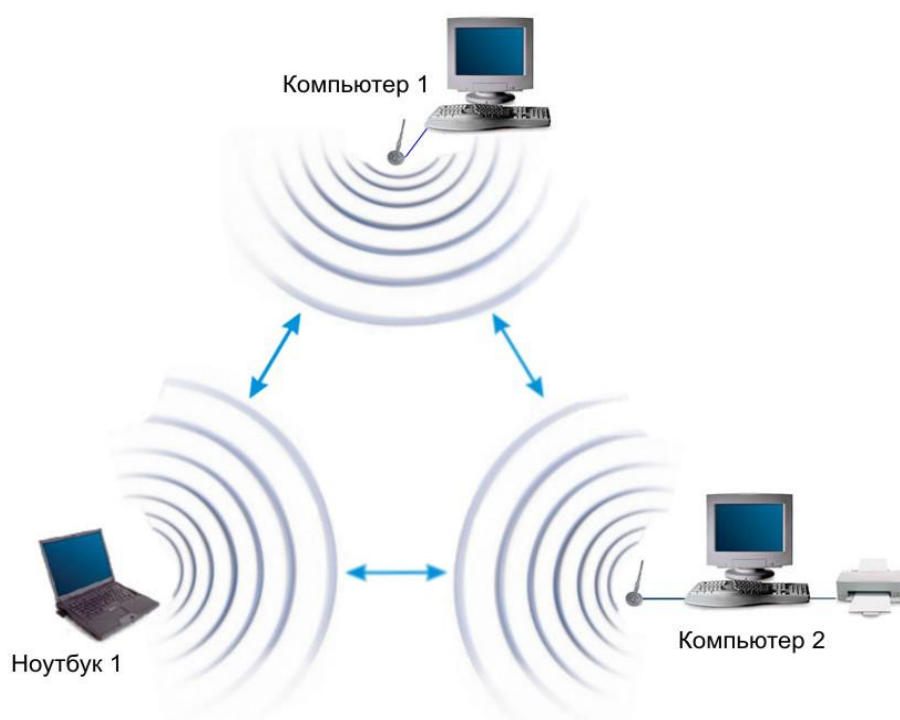


Рисунок 2.7 – Ad Hoc

Устанавливается взаимодействие одноранговое по типу «точка-точка», и компьютеры напрямую взаимодействуют без применения точек доступа. При этом только одна зона обслуживания создается, интерфейса не имеющая для подключения к проводной сети локальной. Основное данного режима достоинство – это простота организации: он дополнительного оборудования не требует (точки доступа). Режим применяться может для создания временных сетей для данных передачи. Однако иметь в виду необходимо, что режим Ad Hoc устанавливать позволяет соединение не более на скорости 11 Мбит/с, от используемого оборудования независимо. Реальная скорость

обмена данных ниже будет, и не более составит  $11/N$  Мбит/с, где  $N$  – число устройств в сети. Дальность связи не более ста метров составляет, а скорость передачи данных падает быстро с увеличением расстояния. Для организации долговременных беспроводных сетей использовать следует инфраструктурный режим. Такой режим показан на рисунке 2.7.

В инфраструктурном режиме обеспечивают точки доступа связь клиентских компьютеров (рисунок 2.8). Точку доступа можно как беспроводный коммутатор рассматривать. Клиентские станции непосредственно не связываются одна с другой, а с точкой доступа связываются, и уже она направляет пакеты адресатам (рисунок 2.8).

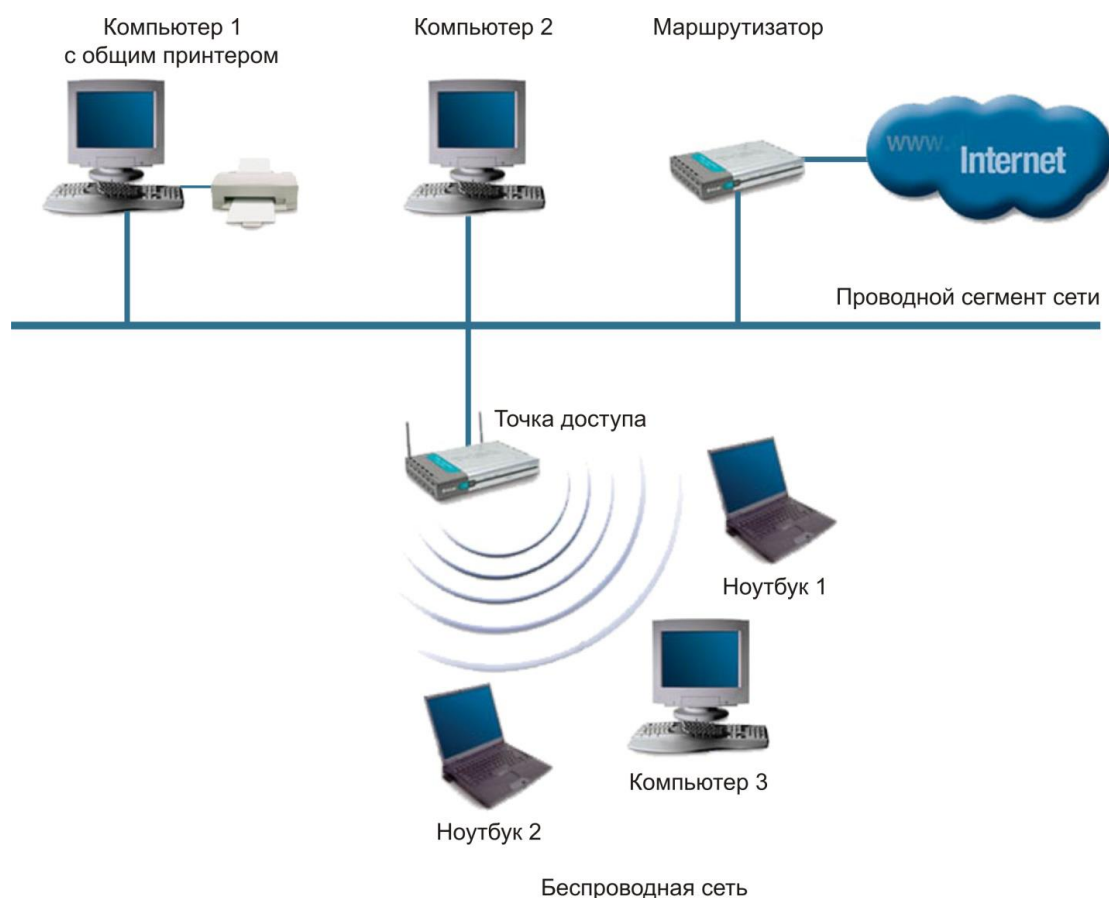


Рисунок 2.8 – Инфраструктурный режим

Точка доступа порт Ethernet имеет, через который подключается базовая зона обслуживания к проводной или сети смешанной – к сетевой инфраструктуре.

Режимы WDS и WDS WITH AP. Термин WDS (Wireless Distribution System) как «распределённая беспроводная система» расшифровывается. В этом режиме соединяются точки доступа между собой только, мостовое образуя соединение. При этом может каждая точка соединяться с другими несколькими точками. Все точки должны в этом режиме использовать канал одинаковый, поэтому точек количество, участвующих в образовании моста,

быть чрезмерно не должно большим. Подключение осуществляется клиентов по проводной сети только через uplink - порты точек (рисунок 2.9).

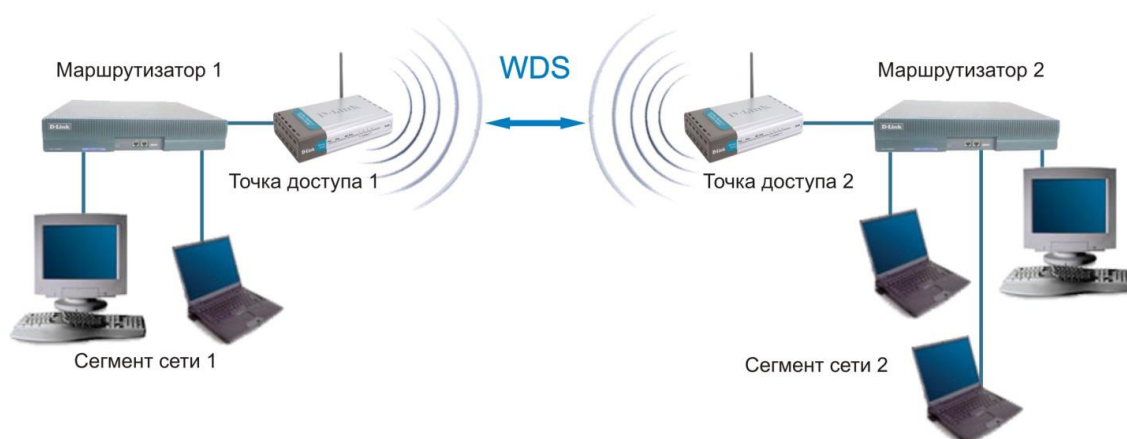


Рисунок 2.9 – Мостовой режим

Режим беспроводного моста, аналогично проводным мостам, для объединения служит подсетей в сеть общую. С помощью беспроводных мостов объединять проводные можно LAN, как на небольшом расстоянии находящиеся в соседних зданиях, так и до нескольких километров на расстояниях. Это объединить позволяет в сеть филиалы и центральный офис, а также клиентов подключать к сети Интернет провайдера (рисунок 2.10).

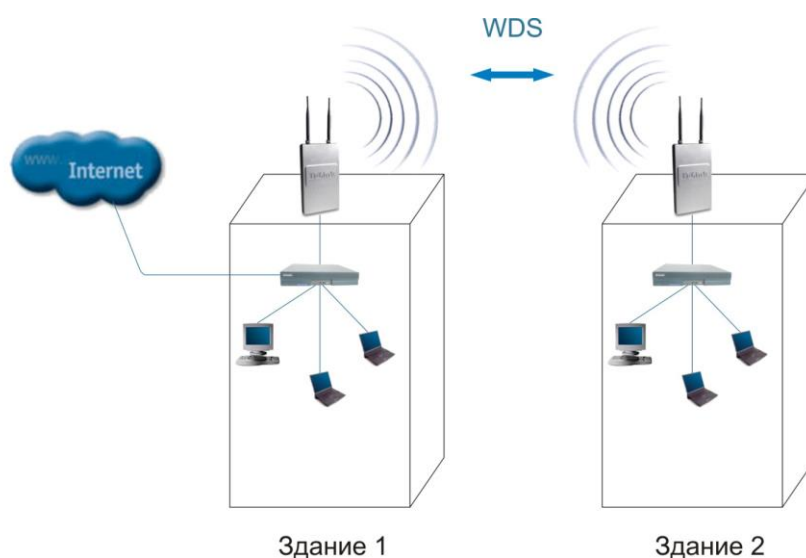


Рисунок 2.10 – Мостовой режим между зданиями

Беспроводный мост использоваться может там, где кабеля прокладка между зданиями нежелательна или невозможна. Данное решение достичь позволяет значительной экономии средств и простоту настройки обеспечивает и конфигурации гибкость при перемещении офисов.

К точке доступа, в режиме моста работающей, беспроводных клиентов подключение невозможно. Беспроводная связь только между парой точек осуществляется, реализующих мост.

Термин WDS with AP (WDS with Access Point) «распределённая беспроводная система, включая точку доступа» обозначает, т.е. с помощью этого режима организовать можно не только мостовую связь между точками доступа, но и подключить одновременно компьютеры клиентские (рисунок 2.11). Это достичь позволяет экономии существенной оборудования и упростить сети топологию. Данная технология большинством современных точек доступа поддерживается.

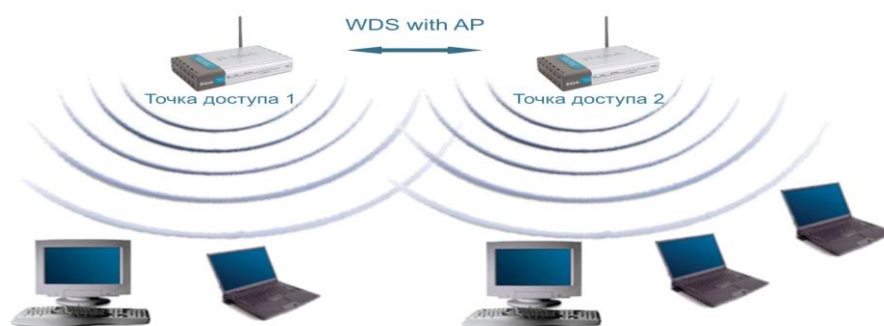


Рисунок 2.11 – Режим WDS with AP

Тем не менее, помнить необходимо, что устройства все в составе одной WDS with AP на одной частоте работают и взаимные помехи создают, что количество ограничивает клиентов до 15-20 узлов. Для увеличения количества подключаемых использовать можно несколько WDS-сетей, на разные неперекрывающиеся каналы настроенных и проводами соединенные через uplink-порты.

### 2.2.1 Технологии защиты данных в Wi-Fi сетях

WEP (Wired Equivalent Privacy, или Защита Эквивалентная Проводной). Этот применялся способ защиты на ранних этапах беспроводных сетей развития. Данные шифруются с помощью специальных ключей, – ключ пароль представляет собой длиной 5 или 13 символов ASCII (статическая часть) плюс вектор инициализации случайным образом сформированный (из трех ASCII-символов). Этот вектор инициализации подобрать несложно прямым перебором – пару часов работы относительно мощного компьютера, и подобран ключ. Сегодня считается, что технологии WEP использование равносильно отсутствию ее. Использовать не рекомендуется.

802.1X. Эта технология защиты внедрена с 2001 года как для проводных так и для сетей беспроводных. Используются ключи динамические шифрования, то есть те, периодически которые меняются во времени. Пользователи сеансами работают, по окончании сеансов присылается им ключ новый. В WindowsXP каждого сеанса время равно 30 минутам.

WPA (Wi-Fi Protected Access) – введен в работу с конца 2003 года. Из позаимствована 802.1X идея смены ключа динамической, плюс многочисленные улучшения включая проверку целостности сообщений. Очень хорошая технология, для домашних рекомендуется сетей и малого офиса.

WPA2 (он же 802.11i). Появился в 2004 году, максимально защищенный стандарт разработанный изначально для сетей беспроводных (в отличие от VPN). Сочетает WPA1 средства и AES (Advanced Encryption Standard).

VPN (Virtual Private Network) – эта технология компанией Intel предложена и для безопасного соединения предназначена клиентских ПК с серверами по интернет общедоступным каналам. VPN очень хороша в плане шифрования и надежности аутентификации. Хотя технология эта для применения в беспроводных сетях и не разрабатывалась, может она с успехом и здесь применяться. За несколько лет эксплуатации сетей VPN информации о взломе их не было. Отличный способ защиты, больше ориентированный на компании крупные. Требуется администрирования грамотного. Технология VPN, кстати, применяется успешно в нашей компании «iLand», что сотрудникам позволяет подключаться к офисной сети из любого места с целью обмена данными или для выхода в интернет через «свои» сервера.

Беспроводные технологии 3G, WiMAX и Wi-Fi во все более используются широком спектре отраслей. 3G в области мобильной связи работает и передачу голоса и данных обеспечивает, правда, скорости передачи данных не очень пока высоки. Технология WiMAX в отличие от 3G только ориентирована на IP и проста потому и удобна. На основе ее быстро можно сеть развернуть, а WiMAX пропускная способность, в том числе и для передачи голоса, большие перспективы сулит. Однако 3G – зрелая, рабочая технология, а WiMAX хотя и перспективная более, но недостаточно еще разработана. Технология Wi-Fi на ограниченном работает расстоянии, и если можно теоретически добиться дальности в 200–300 м, то в условиях крупных городов с большим числом помех и преград ограничена она обычно 30 м и применяется, как правило, внутри помещений. Таким образом, связь по Wi-Fi удобна и для дома, и для офиса. Есть сети Wi-Fi внушительных весьма размеров, но все они равно ограничены помещениями, пусть и очень большими, с немалым скоплением людей, например, в аэропортах, крупных складских комплексах, гостиницах, выставочных павильонах.

### **2.3 Технология WiMAX**

Технология WiMAX очень перспективная, но требует она достаточно широкого частотного спектра. И пока вопрос этот отрегулирован не будет в правовом плане, на большой рост сетей WiMAX рассчитывать не приходится.

Эти технологии три не конкуренты и взаимодополняющими являются для оператора – ведь разные у них зоны покрытия базовых станций. Известно, что Wi-Fi на небольшом расстоянии работает, и его целесообразно использовать, когда небольшая зона покрытия требуется. Технология WiMAX удобна, если обеспечить необходимо беспроводной широкополосный доступ в сеть Интернет. Наиболее для оператора разумный путь – в зависимости от местоположения и конкретных условий работы эти три технологии комбинировать – 3G, WiMAX и Wi-Fi – с тем, обеспечить чтобы лучшую зону покрытия при оптимальных затратах.

Однако следует помнить, что у трех всех технологий степень зрелости разная. Технология 3G и реализация ее UMTS зрелые наиболее, так как готовое есть промышленное оборудование и решения на базе его, а самое главное, есть абонентские терминалы, позволяющие сервисы донести, развертываются которые на базе данной технологии, до конечных пользователей. Технология Wi-Fi является также зрелой достаточно. Но, к сожалению, этого сказать нельзя про технологию WiMAX. И все равно делать стоит на нее ставку, привлекательность ее и перспективность в том заключаются, что WiMAX возможность дает использовать более эффективно частотный спектр.

Но основной проблемой, характерной для новых всех технологий, не только являются вышеперечисленные сложности и недорогостоящего терминального оборудования нехватка, а неготовность абонентов пользоваться услугами широкополосной передачи данных. Это тормозит серьезно на массовом рынке распространение беспроводных технологий.

Таким образом, говорить если о технологиях беспроводных в глобальном, масштабе мировом, то выделить можно три сдерживающих фактора: терминалов недостаток, ограниченность сервисов и цены высокие. А в Казахстане добавляются к ним еще сложности с лицензированием для WiMAX частот.

Под аббревиатурой WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) технология понимается операторского класса, которая на семействе стандартов IEEE 802.16 основана, разработанных международным институтом инженеров по электротехнике и электронике (IEEE). В стандартах 802.16 определяются физический уровень и управления доступом уровень для систем фиксированного широкополосного беспроводного доступа масштаба города.

802.16-2004 (известен также как 802.16d и фиксированный WiMAX). Спецификация в 2004 году утверждена. Используется частотное мультиплексирование ортогональное (OFDM), фиксированный доступ поддерживается в зонах с отсутствием либо наличием прямой видимости. Пользовательские устройства собой представляют стационарные модемы для установки внутри помещений и вне, а также PCMCIA-карты для ноутбуков. В большинстве под эту технологию стран диапазоны отведены 3,5 и 5 ГГц. По сведениям WiMAX Forum, уже насчитывается порядка 175 внедрений версии фиксированной. Многие аналитики в ней видят конкурирующую или



взаимодополняющую технологию широкополосного проводного доступа DSL.

802.16-2005 (известен также как 802.16e и мобильный WiMAX). Спецификация в 2005 году утверждена. Это — новый виток технологии развития фиксированного доступа (802.16d). Оптимизированная версия для поддержки мобильных пользователей ряд специфических функций поддерживает, таких как хэндовер и роуминг. Применяется масштабируемый OFDM-доступ (SOFDMA), работа возможна либо при наличии или отсутствии прямой видимости. Планируемые частотные диапазоны для сетей Mobile WiMAX таковы: 2,3; 2,5; 3,4–3,8 ГГц. В мире несколько пилотных проектов реализованы, а недавно Sprint оператор анонсировал старт проекта национального масштаба. Конкурентами 802.16e являются мобильные технологии третьего поколения (например, EV-DO, HSPA).

Основное различие двух технологий в том состоит, что фиксированный WiMAX обслуживать позволяет только абонентов «статичных», а мобильный на работу ориентирован с пользователями, со скоростью передвигающимися до 120 км/ч. Мобильность наличие функций роуминга означает и переключения «бесшовного» между базовыми станциями при передвижении абонента (как происходит в сетях сотовой связи). В частном случае WiMAX мобильный применяться может и для обслуживания фиксированных пользователей.

В общем виде сети WiMAX из следующих основных частей состоят — базовых и абонентских станций, а также оборудования, базовые станции связывающего между собой, с сервисов поставщиком и с Интернетом.

Для базовой станции с абонентской соединения высокочастотный диапазон используется радиоволн от 1,5 до 11 ГГц. Скорость обмена данными в идеальных условиях достигать может 70 Мбит/с, при этом обеспечения прямой видимости не требуется между базовой станцией и приемником.

Между базовыми станциями соединения устанавливаются (прямой видимости), диапазон частот использующие от 10 до 66 ГГц, скорость обмена данными достигать может 120 Мбит/с. При этом, одна базовая станция по крайней мере к сети провайдера подключается с использованием классических соединений проводных. Однако, чем число БС большее к сетям провайдера подключено, тем скорость передачи данных выше и надежность сети в целом.

Структура сетей семейства IEEE 802.16 стандартов с традиционными схожа сетями GSM (базовые станции на расстояниях действуют до десятков километров, для установки их строить вышки не обязательно — установка на крышах домов допускается при соблюдении условия прямой видимости между станциями).

В 802.16a стандарте более низкий предусмотрен частотный диапазон — от 2 до 11 ГГц, что организовывать позволяет связь на обширных более территориях. Зона покрытия, стандартом определяемая 802.16a, составляет 50 км, а скорость максимальная передачи данных — до 70 Мбит/с на один сектор

базовой станции (типовая базовая станция имеет до шести секторов) при спектральной эффективности до 5 бит/с/Гц.

В 802.16a стандарте три типа «физического уровня» соединений определяются, методом модуляции сигнала различающихся:

- с одной несущей частотой (WirelessMAN-SC2);
- ортогональное частотное разделение с мультиплексированием на 256 каналов (WirelessMAN-OFDM);
- ортогональное частотное разделение с мультиплексированием на 2048 каналов (WirelessMAN-OFDMA).

Применение ортогонального разделения каналов передачу обеспечивает результирующего сигнала в спектре более узком по сравнению с другими мультиплексирования методами.

OFDM-мультиплексирование на 256 каналов с ортогональным разделением частоты позволяет за счет параллельной передачи данных увеличить скорость обмена, а мультиплексирование на 2048 каналов OFDMA возможности предоставляет улучшенного мультиплексирования в сетях с несколькими уровнями.

Широкополосный беспроводной доступ недостатков лишен, DSL присущих и кабельным соединениям. Сети IEEE 802.16a стандарта разворачивать проще и площадь увеличивать покрытия их. По структуре очень они похожи на сети традиционной мобильной связи: здесь также базовые станции присутствуют, которые в радиусе до 50 км действуют, но при этом необязательно их на вышках устанавливать — для них подходят вполне домов крыши, башни водонапорные или элеваторы. Пользовательское оборудование, с помощью которого соединение осуществляется с базовой станцией, антенну включает и терминальную часть.

Как и в случае с Wi-Fi, WiMAX организация двухуровневой является и собой представляет совокупность физического уровня и канального.

В итоге перечислим следующие WiMAX особенности:

- основан на IP-протоколе, в нём интегрируются многие виды IP-оборудования, стандартные протоколы и устройства.
- спектральная эффективность 3-5 бит/Гц, в сотовых сетях 1-1,5 или 1,5-2,5 (3-е поколение) бит/Гц.
- с 2008 г. недорогие сетевые чипы WiMAX начали встраивать в ноутбуки, телефоны и бытовые электронные устройства.
- дома можно работать в Интернете на скорости 10-20 Мбит/с, а в дороге со скоростью 2 Мбит/с.
- WiMAX технология под передачу данных создавалась, поэтому сети топология получается, проще гораздо, больших инвестиций не требуется, с масштабированием связанных сотовых сетей.

### 2.3.1 Сравнение ключевых технологий WiMAX и LTE

Следующим шагом эволюции 3GPP систем, являются Long Term Evolution (LTE) системы. Их отличает OFDMA технология в нисходящем канале и SC-FDMA – в восходящем. Модуляция – до 64-QAM, ширина канала – до 20 МГц, дуплексирование TDD и FDD. Применены адаптивные антенные системы, сеть гибкая доступа. Сетевая архитектура IP-сеть полностью. В LTE системе технологии и методы применяются, уже применяемые в WiMAX мобильном, поэтому ожидать следует схожей эффективности LTE систем (таблица 2.2 и 2.3).

Таблица 2.2 – Сравнение параметров реальных систем LTE и мольного WiMAX в одинаковых частотных условиях при FDD с полосами 2x20 МГц

Параметры	LTE			WiMAX	
	Motorolla	T-Mobile	Qualcom m		
Нисходящий канал					
Антенна БС	2x2	2x4	4x2	2x2	4x4
Модуляция и скорость кодирования	64 QAM 5/6	64 QAM 5/6	64 QAM 5/6	64 QAM 5/6	
Скорость Мбит/с	226	144	277	144,6	289
Восходящий канал	Нет данных				
Антенна АС		1x2	1x2	1x2	
Модуляция и скорость кодирования		64 QAM 5/6	64 QAM 5/6	64 QAM 5/6	
Скорость Мбит/с		50,4	75	69,1	

Системы LTE – это улучшение революционное 3G. LTE переход представляет от CDMA систем к OFDMA системам, а также к полностью IP – системе переход с коммуникацией пакетов. Поэтому технологии этой внедрение на существующих сотовой связи сетях необходимость означает новых ресурсов радиочастотных для преимущества получения от широкого канала. Для обеспечения обратной совместимости двухрежимные абонентские устройства необходимы. Поэтому переход весьма плавный от 3G систем к LTE сложен.

Отметим, что преимущество в спектральной эффективности выигрыш означает в стоимости сети развертывания (в том числе в удельной стоимости по отношению к пропускной способности сети). Кроме того, канальная емкость возрастает, что операторам позволяет дополнительные сервисы вводить. Мобильный WiMAX представляет IP-сеть гладкую, LTE более сеть сложна (рисунок 2.12).

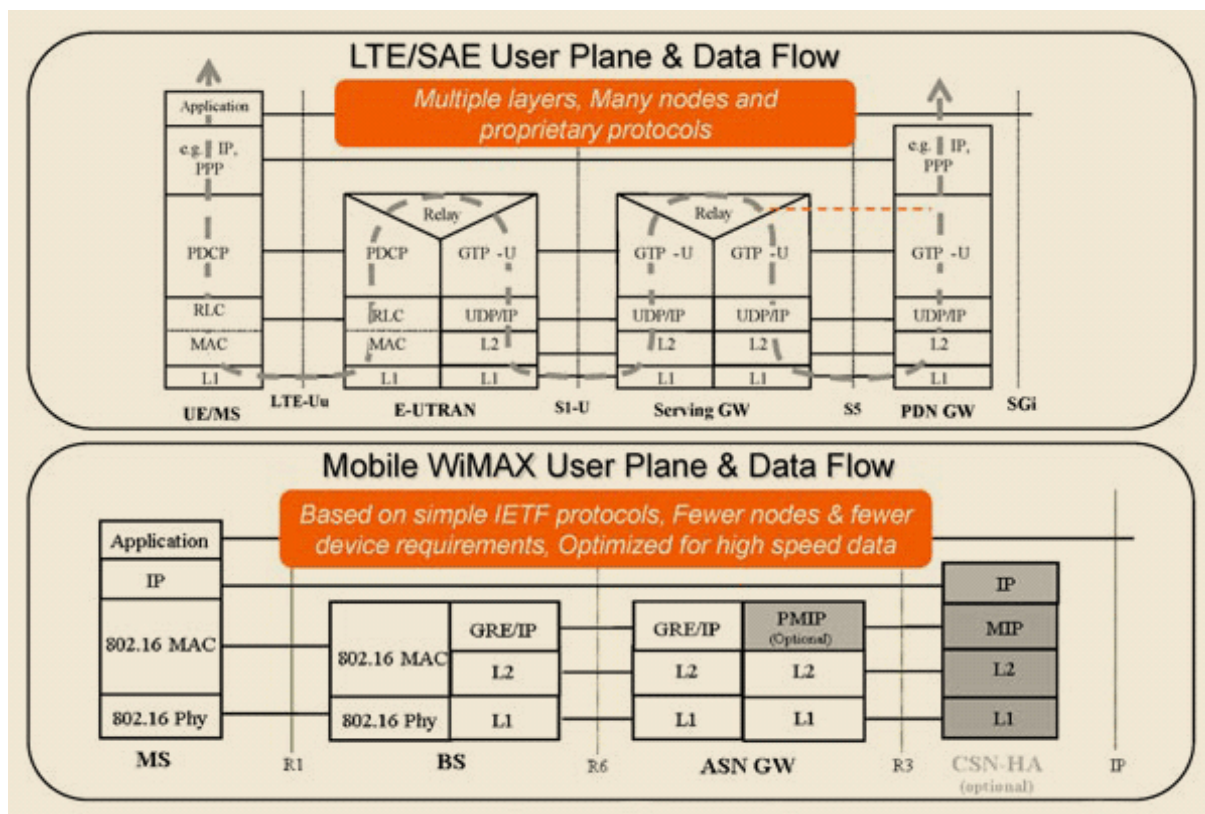


Рисунок 2.12 – Сравнение системных архитектур сетей WiMAX и LTE

Таблица 2.3 – Сравнение ключевых параметров LTE и WiMAX

Параметры	LTE	WiMAX
Дуплексирование	FDD и TDD	FDD и TDD
Частотный диапазон для анализа	2000 МГц	2500 МГц
Ширина канала	До 20 МГц	До 20 МГц
От базы	OFDMA	OFDMA
Кбазе	SC-FDMA	OFDMA
Спектральная эффективность, бит/Гц/с		
Нисходящий канал, MIMO (2x2)	1,57	1,59
Восходящий канал, SIMO (1x2)	0,64	0,99
Максимальная скорость мобильной станции км/ч	350	120
Длительность кадра, мс	1	5
Антенные системы		
Нисходящий канал	2x2, 2x4, 4x2, 4x4	2x2, 2x4, 4x2, 4x4
Нисходящий канал	1x2, 1x4, 2x2, 2x4	1x2, 1x4, 2x2, 2x4

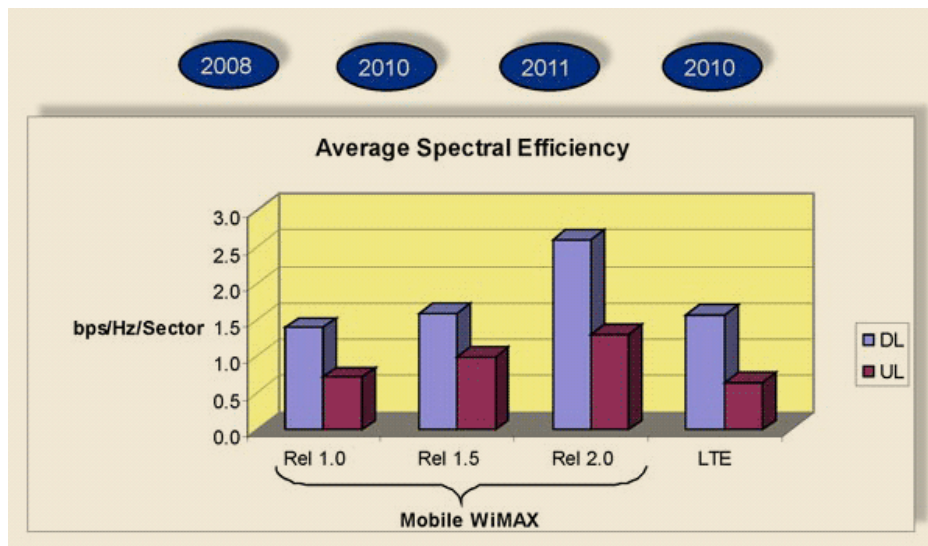


Рисунок 2.13 – Сравнение средней спектральной эффективности.

Выводы сравнения WiMAX и LTE:

- WiMAX, и LTE отвечают целям IMT-Advanced;
  - спецификации IMT-Advanced еще не полностью определены;
  - стандарт IEEE802.16m будет полностью отражать спецификации и требования IMT-Advanced;
  - WiMAX мобильный релиз 1,5 и LTE имеют похожие характеристики.
- В обоих случаях на линии от базы используется OFDMA с многоуровневой модуляцией и кодированием. Пиковые скорости одинаковы практически при кратностях модуляции одинаковых и скоростях корректирующего кода. В обоих используется и FDD, и TDD при ширине канала дуплексирование до 20 МГц. В обоих используется MIMO кратности большой и уменьшение задержки;
- пропускная способность и спектральная эффективность мобильного WiMAX по релизу 2.0 лучшие параметры имеет, чем LTE;
  - мобильный WiMAX релиз 2.0 совместим с релизами 1.0 и 1.5;
  - инвестиции для преобразования сетей из 2G/3G в LTE и в мобильный WiMAX примерно одинаковы;
  - и для сетей LTE, и для сетей WiMAX необходим новый спектр;
  - для обоих сетей нужны многорежимные абонентские приборы.

### 2.3.2 Сравнение ключевых технологий WiMAX и Wi-Fi.

Сравнения и путаница между сетями WiMAX и Wi-Fi частыми являются, поскольку они оба связаны связью с беспроводной и Интернет доступом.

WiMAX использует спектр, доставить чтобы "точка-точка подключения к Интернету. Различные стандарты 802.16 различные виды доступа предусматривают с портативных коммутаторов (по аналогии с беспроводным телефоном) для фиксированного (альтернатива проводного доступа, где

беспроводные точки подключения конечных пользователей зафиксирована в регионе.)

Wi-Fi нелицензионный использует спектр для предоставления доступа к сети. Wi-Fi популярна более в устройствах конечных пользователей.

WiMAX и Wi-Fi совершенно различные имеют качества обслуживания механизмов (QoS). WiMAX механизм использует, на связи между базовой станцией и устройством пользователя основанный. Каждое соединение на конкретных алгоритмов планирования основано. Wi-Fi имеет QoS механизм аналогичные фиксированной Ethernet, где пакеты получать могут приоритеты различные на основе тегов.

Wi-Fi работает на Media Access Control 'S CSMA / CA протокол, не гарантирует который доставку и утверждения основаны, в то время как WiMAX на соединение ПДК ориентированный работает.

Стандарт 802.16 через широкую полосу распространяется в спектре РКК WiMAX функционировать может на любых ниже 66 ГГц частотах, (более частотах высоких, привело бы к уменьшению диапазона действия базовой станции до нескольких сот метров в городской среде).

WiMAX профили определения размера канала, TDD / FDD и другими необходимыми атрибутами для того, чтобы иметь Inter-операционных продуктов. Нынешний фиксированный профили определяются как для FDD и TDD профилей. На данный момент, все мобильные TDD профили только эти. Профили фиксированные размеры канала имеют 3,5 МГц, 5 МГц, 7 МГц и 10 МГц. Мобильные профили 5 МГц, 8,75 МГц и 10 МГц. (Примечание: 802.16 стандарт позволяет гораздо более широкий круг каналов, но только выше подмножества поддерживаются профили WiMAX.)

Ожидается, что сможет WiMAX высокоскоростной беспроводной доступ обеспечить проще и дешевле, чем технологии существующие сотовой связи. Эта технология имеет также масштабирования возможности, благодаря которым организовать можно недорогой доступ широкополосный по всей территории страны. Беспроводная WiMAX инфраструктура расширяться может, чтобы поддержку обеспечить карманных и мобильных устройств, которые появятся в будущем. Эти преимущества дает дополнительные для стран с развивающейся экономикой, подобным Индии, которые пока развитой не имеют широкополосной инфраструктуры.

Благодаря тому, что WiMAX технология на стандартах основана, допускает она положительный эффект масштаба, который уменьшить сможет стоимость широкополосного доступа, возможность обеспечить взаимодействия и упростить реализацию. В случае отсутствия стандартов производители специализированного оборудования полный комплекс аппаратных и программных компонентов предлагают, и из-за ограничительного лицензирования расходы увеличиваются. Поставщикам услуг работать выгоднее со стандартной продукцией, т.к. совместимость устройств различных и объемы большие выпуска сократить позволяют стоимость оборудования.

### **3 Экспериментальная часть**

Стандарт IEEE 802.16 [1] описывает технологию WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access). WiMAX – это телекоммуникационная технология предоставления широкополосной беспроводной связи на больших расстояниях для широкого спектра устройств: от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов [2].

В общем виде сеть WiMAX состоит из базовых и абонентских станций. При этом базовые станции выполняют также роль шлюзов сети Internet. Для обмена данными между станциями используется СВЧ-диапазон радиоволн от 1,5 до 11 ГГц. В идеальных условиях скорость обмена данными может достигать 70 Мбит/с, при этом не требуется обеспечения прямой видимости между передатчиком и приёмником [2].

К одной базовой станции (BS – base station) могут быть подключены сотни абонентских станций (SS – subscriber station), работающих в одном радиодиапазоне (канале). На каждой SS может быть запущено множество приложений, которым необходим доступ к среде передачи данных. У этих приложений могут быть совершенно разные требования к качеству связи (ширина полосы, задержка и т.д.). Например, приложениям VoIP (передача речи по сети) не требуется широкая пропускная способность канала, но большое значение имеет транзитная задержка доставки пакетов от отправителя к получателю. FTP-клиенту, в свою очередь, задержка не важна, но важна ширина полосы.

Так как все SS, подключенные к одной BS, работают на одном радиоканале, то необходим протокол, позволяющий согласовать работу всех передатчиков и приемников. При этом приложения должны получать доступ к радиоканалу таким образом, чтобы для каждого из них гарантированно обеспечивался заказанный уровень качества сервиса, называемого также в общепринятой англо-язычной терминологии «QoS» – Quality of Service. В системе управления сетью WiMax качеством сервиса управляет подсистема, называемая планировщиком QoS.

#### **3.1 Описание модели QoS стандарта IEEE 802.16**

Стандарт IEEE 802.16 [1] описывает физический и канальный уровни модели взаимодействия открытых систем или OSI (Open System Interconnection). Планировщик QoS является одним из модулей подуровня MAC (MAC – англ. Media Access Control – подуровень управления доступом к среде передачи данных в модели взаимодействия открытых систем).

В связи с тем, что сети WiMAX изначально рассматривались как сети операторского класса, вопрос обеспечения QoS в них первичен. Стандарт IEEE 802.16 вопросы обеспечения требуемого качества обслуживания связывает с конкретным сервисным потоком. Сервисным потоком называется

поток данных, связанный с определенным приложением. Каждый поток имеет свой QoS-класс обслуживания, при этом абоненту выделяется необходимая полоса пропускания — соответствующий виртуальный канал, которому присваивается 16-разрядный идентификатор соединения CID (Connection Identifier). Класс обслуживания QoS может задаваться для каждого абонентского терминала или назначаться для групп пользователей по MAC-, IP-адресам и др. Существует пять QoS-классов обслуживания:

- класс доступа по первому требованию UGS (Unsolicited Grant Service), при котором абонентской станции немедленно предоставляется заранее оговоренная (при подключении к сети) фиксированная скорость передачи. Несмотря на применение коммутации пакетов, этот класс позволяет эмулировать непрерывный канал связи и, как при коммутации каналов, обеспечивает постоянную скорость передачи, что требуется, например, в традиционной телефонии;

- класс доступа с переменной скоростью с передачей данных в режиме реального времени RT-VR (Real-Time Variable Rate), при котором абонентская станция передает информацию, чувствительную к задержкам, с переменной скоростью без потери качества. Таким способом может передаваться видеoinформация с переменным сжатием;

- класс доступа с переменной скоростью без передачи данных в режиме реального времени NRT-VR (Non-Real-Time Variable Rate) используется для передачи информации нечувствительной к задержкам, но требующей гарантированной скорости. Например, этот класс используется для передачи файлов (протоколы FTP, HTTP);

- класс доступа в режиме максимально возможной в данный момент скорости BE (Best Effort) используется для передачи данных, не критичных к скорости передачи и времени задержки. Преимущественно данный класс используется для передачи данных в интернете;

- для передачи данных приложений реального времени вводится промежуточный между UGS и RT-VR пятый расширенный класс доступа с переменной скоростью с передачей данных в режиме реального времени ERT-VR (Extended Real-Time Variable Rate), который обеспечивает постоянные скорость и задержку, например, при передаче голоса с подавлением пауз.

Инфраструктура QoS включает в себя следующие элементы:

- службы с установлением соединения;
- службы доставки: UGS, RT-VR, ERT-VR, NRT-VR;
- модули обеспечения требуемых параметров QoS для каждого абонента отдельно;
- модули управления доступом на основе политик разрешения;
- службы создания статических или динамических сервисных потоков.



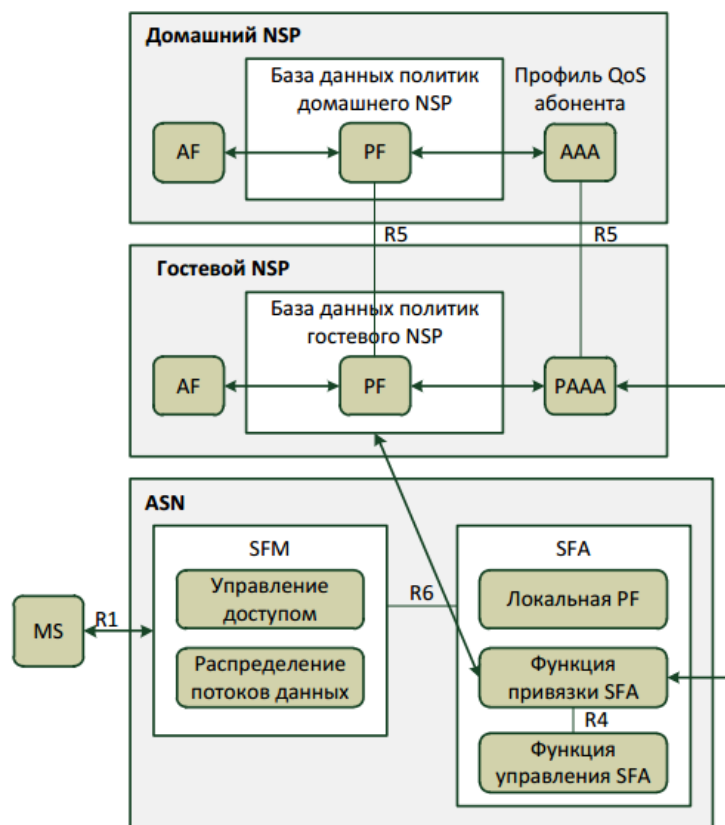


Рисунок 3.1 – Поддержка QoS в системах WiMAX

Вследствие того, что в стандарте IEEE 802.16 инфраструктура QoS поддерживается и в базовых сетях (а не только в БС и АС), для эффективного обслуживания абонентов с разными требованиями QoS в сети требуются дополнительные функциональные элементы: модули управления стратегиями работы (PF — Policy Function), управления доступом (АС — Admission Control), авторизации сервисных потоков (SFA — Service Flow Authorization). Модуль управления стратегиями работы вместе с соответствующими базами данных относится к NSP. Инфраструктура AAA функционирует совместно с модулями управления стратегиями работы для определения прав каждого пользователя на работу с определенными уровнями QoS и выстраивания соответствующих стратегий работы абонента. Модуль авторизации сервисных потоков обычно размещается в шлюзе ASN и использует информацию, полученную от модуля управления стратегиями работы в процессе подключения абонентов к сети и для управления сервисными потоками.

После того, как загружены профили QoS модуль авторизации сервисных потоков создает, принимает и приводит в действие заранее подготовленные сервисные потоки. Более того, в случае, когда пользовательский профиль QoS не удалось загрузить, модуль управления стратегиями работы может инициировать создание новых сервисных потоков, которые далее будут использоваться в качестве предварительно подготовленных.

### 3.2 Моделирование сети WiMax

Осуществим сети моделирование на базе WiMax стандарта и оценим параметры его качества, используя программный продукт OPNET Modeler 14.0 (Optimized Network Engineering Tools).

OPNET Modeler – мощная имитационная среда моделирования дискретных событий и состояний. Она множество включает библиотек технологий сетевых и протоколов связи, таких как TCP/IP, протокол передачи гипертекста (HTTP), технология асинхронного режима передачи (ATM) и FrameRelay, IP-QoS, 802.11 (Wi-Fi), ZigBee и др. Эти библиотеки блоки поставляют для построения моделей сетей. Одним из множества модулей, доступных в OPNET Modeler, является модуль беспроводной. Он функциональность расширяет среды для моделирования имитационного и анализа сетей беспроводных.

Для создания в среде OPNET Modeler 14.0 модели создать необходимо проект, ЛВС беспроводной с параметрами, представленными в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Параметры беспроводной ЛВС

Initial Topology	Create empty scenario	Click Next
Network Scale	Office	Click Next
Size	100 m x 100 m	Click Next
Model Family	Wireless LAN	Click Next
Review check values		Click Finish

Получаем модель беспроводной ЛВС, которая состоит из следующих компонентов:

- 1 Ethernet-server;
- 1 базовой станции;
- 4 точек доступа.

Параметры моделируемой сети:

Диапазон частот - 5 МГц;

Высота антенны 1,5 м;

Модуляция 64QAM  $\frac{3}{4}$ ;

Длина очереди 50 пакетов;

Продолжительность моделирования 100 с.

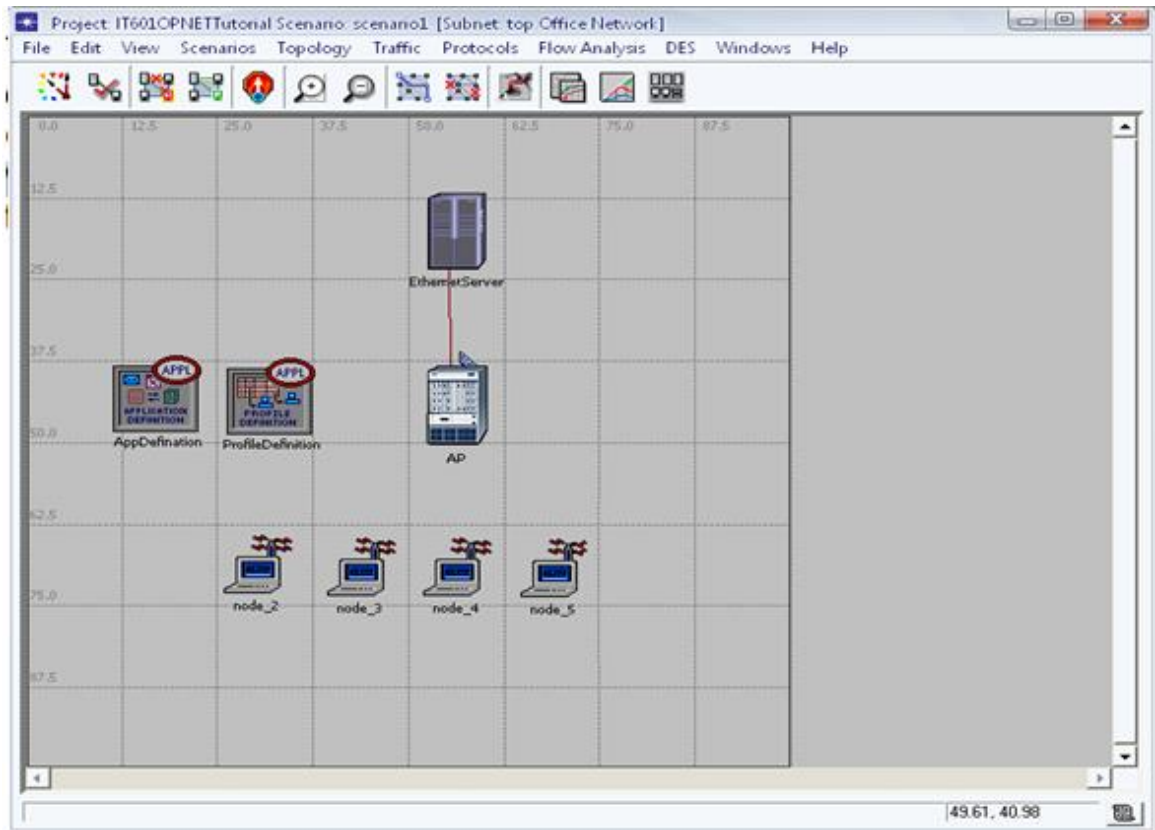


Рисунок 3.2 – Выбор типа модели

Осуществим настройку компонентов сети и зададим параметры Qos.

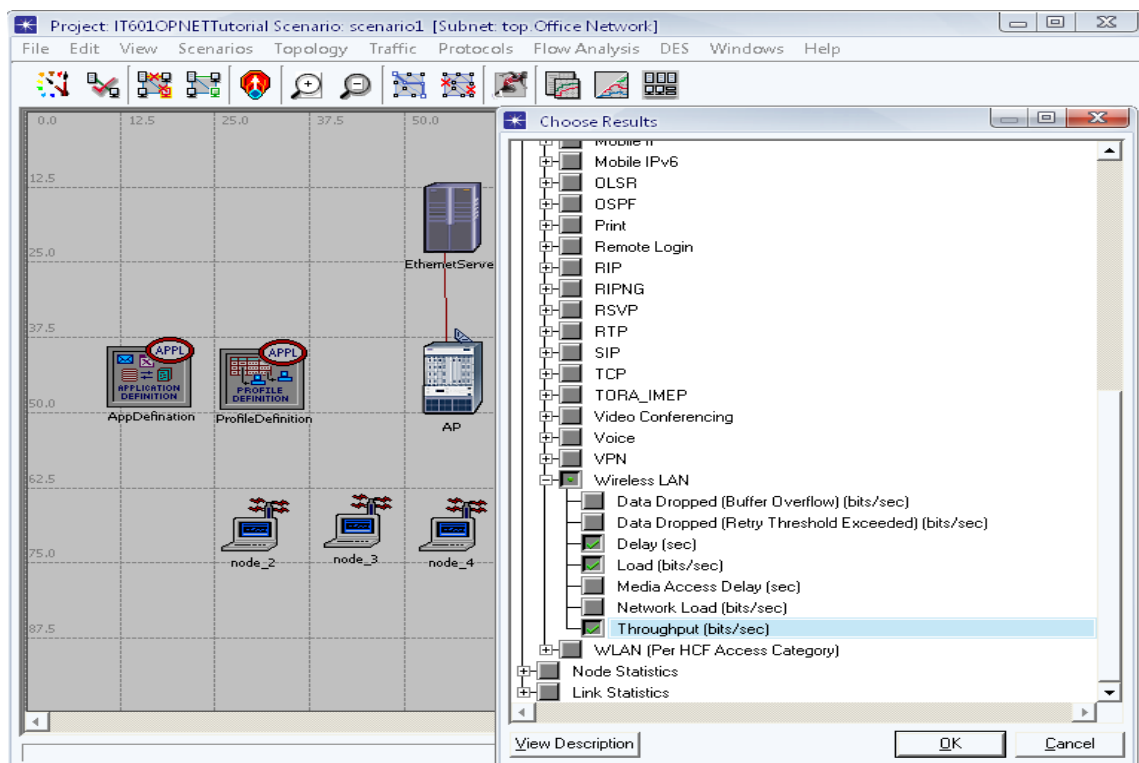


Рисунок 3.3 – Конфигурация параметров Qos

### 3.2.1 Обработка результатов моделирования

Протестирован сценарий, подключено 4 в котором хоста к одной БС, генерируют которые трафик и конкурируют за ресурсы в восходящем направлении. Каждый узел источника имеет трафик, эмулирующий трафик типа UGS (голос и видео), типа rtPS, и типа nrtPS трафик и BE трафик (Интернет).

Результаты пропускной способности различных классов трафика при генерации представлены на рисунке 3.4. Параметры для классов Qos, представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Параметры классов Qos

Класс Qos	Скорость передачи	Размер пакета, байт
BE	1Mbps	512 to 1024
UGS	1Mbps	300
rtPS	1Mbps	200 to 980
nrtPS	1Mbps	256 to 1024

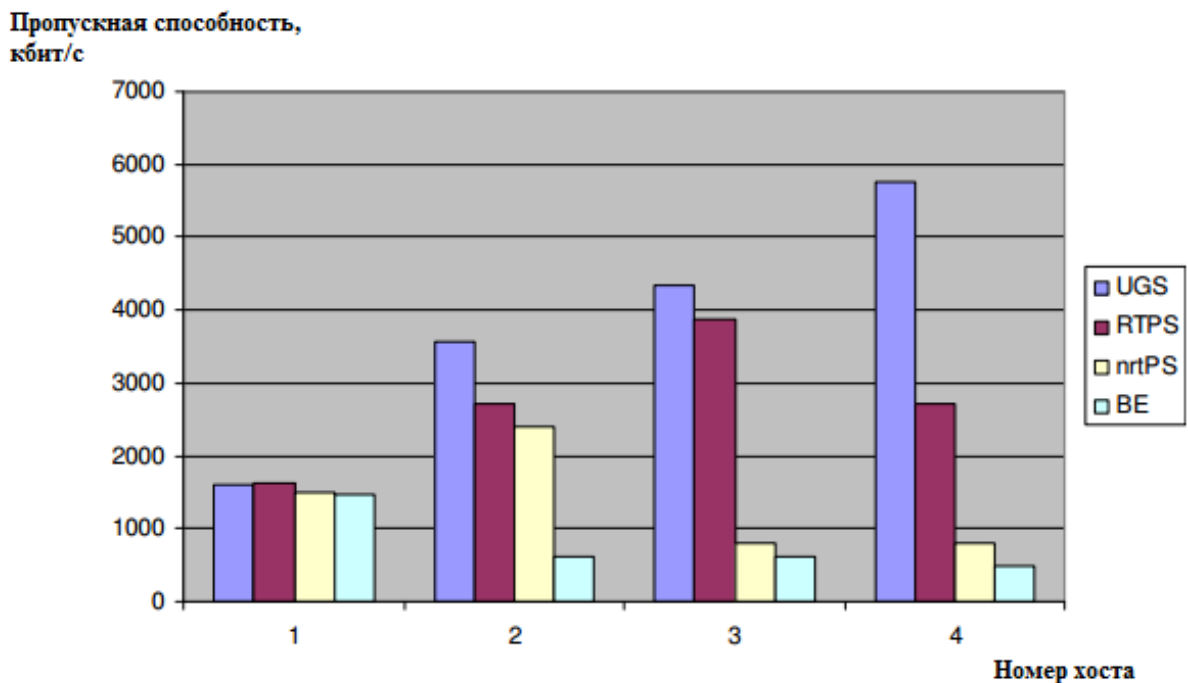


Рисунок 3.4 – Значения полосы пропускания для классов QoS

Полученные значения показывают, что трафик класса типа UGS имеет полосу пропускания наименьшую по сравнению с классом типа BE, который высокую полосу пропускания пакетов имеет. Таким образом, можно сказать, что пакеты типа UGS обслуживаться будут с более высоким качеством в отличие от типа BE пакетов.

Задержка, мс

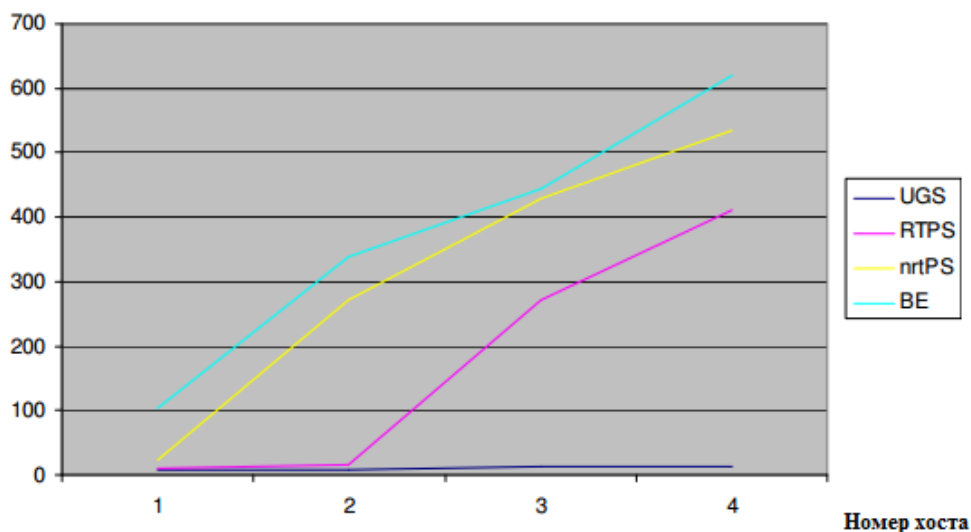


Рисунок 3.5 – Параметры задержки

Из графика видно, что с увеличением числа хостов, для каждого класса обслуживания пропускная способность увеличивается, следовательно, и задержка передачи пакетов увеличивается. Поскольку пропускная способность распределяется на все хосты при увеличении их количества, тем самым уменьшая пропускную способность для каждого из них и, следовательно, тем выше приоритет будет у трафика класса с точки зрения QoS.

Джиттер, мс

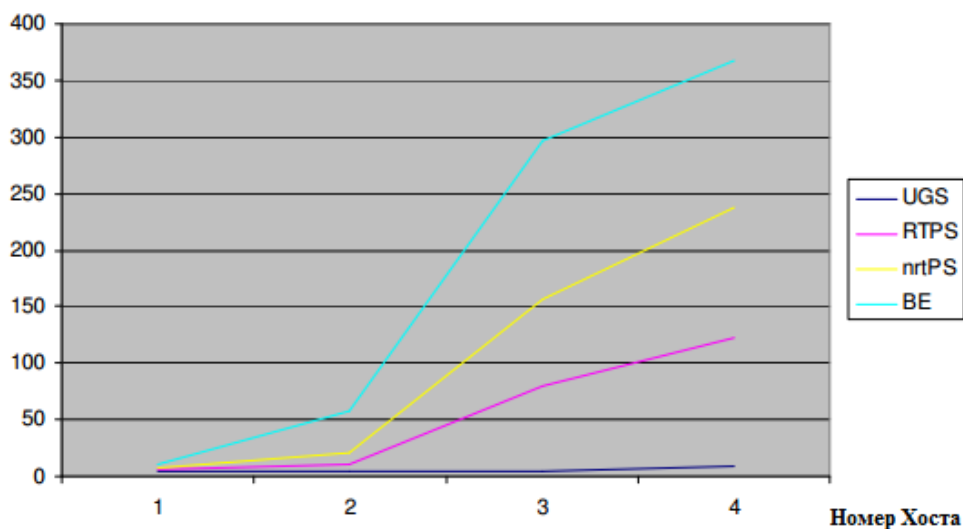


Рисунок 3.6 – Параметры джиттера

Анализируя полученные результаты с точки зрения задержки и джиттера, видно, что для класса трафика типа UGS, значения всегда поддерживаются в разумных и значительно низких значениях. Что касается

остальных классов трафика, с увеличением числа абонентов, значение задержки и джиттера, как и ожидалось, существенно увеличились.

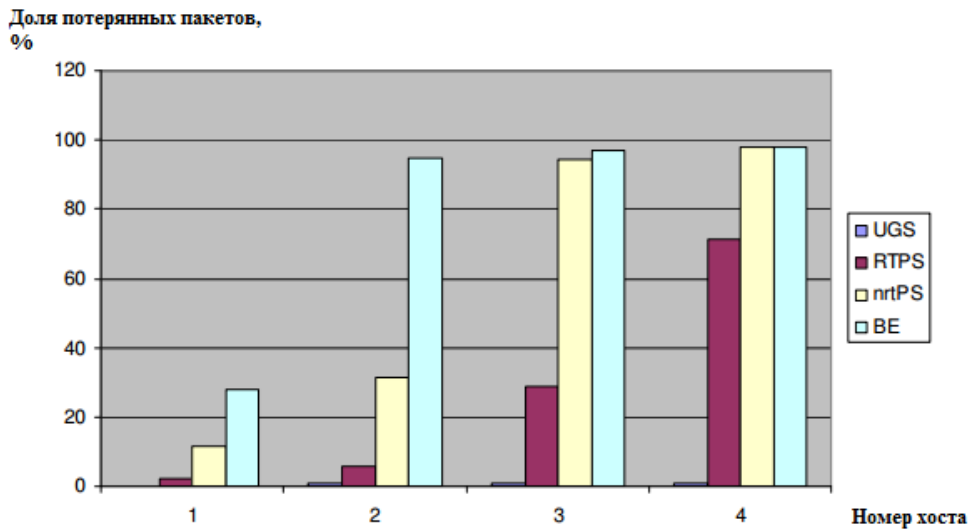


Рисунок 3.7 – Доля потерянных пакетов

Что касается результатов потери пакетов, то класс обслуживания типа UGS остается неизменным почти, тогда как остальные классы услуг имеют потери пакетов значительные, из-за алгоритмов приоритетизации. При моделировании ситуации с наличием 4 различных классов, увеличение параметров задержек и потери пакетов зависит от увеличения числа хостов.

Из полученных результатов, можно увидеть, что самый высокий класс качества QoS, нуждается в более высокой пропускной способности передачи и имеет более высокий процент потери пакетов.

Это объясняется тем фактом, что полоса пропускания будет распределяться между всеми хостами, а наиболее высший класс требует более высокой полосы пропускания (рисунок 3.8).

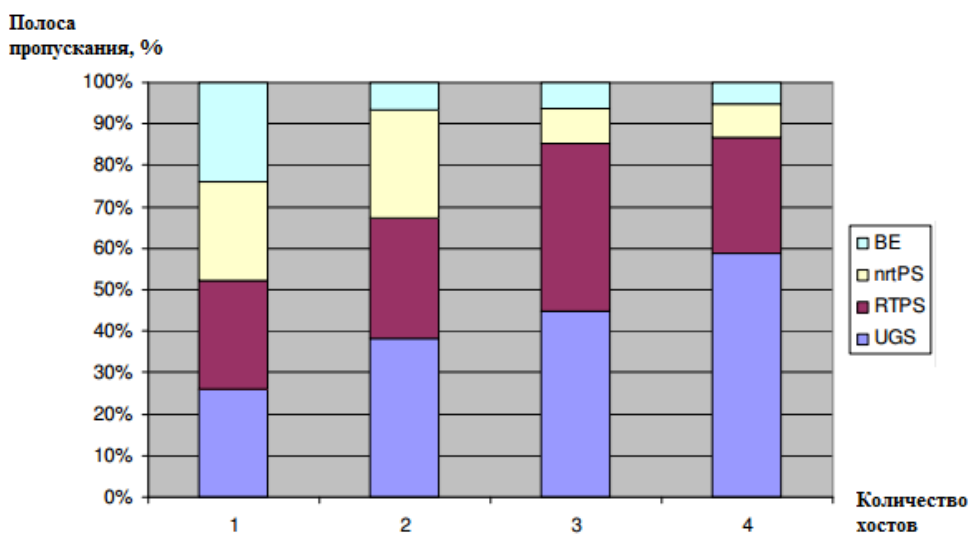


Рисунок 3.8 – Доля распределения полосы пропускания в зависимости от приоритета

### 3.3 Моделирование параметров QoS с помощью планировщика

Задачей планировщика разделение полосы радиоканала является между приложениями, работающими сетевыми в соответствии с заданными для каждого приложения параметрами качества связи. Разделение канала сводится к разделению кадров канального уровня, т.е. к формированию трафика.

Входными данными планировщика являются:

- 1) список сервисных потоков и QoS их параметры,
- 2) физические характеристики радиоканала,
- 3) размеры (заполненность) очередей пакетов.

Выходными данными являются карты типа UL-MAP и DL-MAP, описывают которые, данными каких сервисных потоков и в каком количестве заполнять восходящий и нисходящий подкадры соответственно.

Разрабатываемый планировщик располагается физически на базовой станции, поэтому полную информацию имеет об очередях данных, отправки ждущих от базовой к станциям абонентским (Downlink), но информации не имеет об данных очередях, на абонентских станциях расположенных (Uplink). Однако планировщик базовой станции распланировать должен как нисходящий подкадр, так и восходящий. Для этого в стандарте механизм предусмотрен запроса абонентскими станциями выделения полосы в восходящем подкадре – Bandwidth Request.

Планировщик QoS запускается перед отправкой очередного кадра.

В общем и целом планировщика работу описать можно следующим образом:

- 1) получить актуальную информацию о радиоканале;
- 2) получить актуальную информацию о подключенных абонентских станциях;
- 3) получить актуальную информацию о существующих сервисных потоках;
- 4) получить информацию о текущем состоянии очередей данных (непосредственно, заполненность очередей для нисходящих потоков и запросы полосы для восходящих);
- 5) на основе полученных данных выполнить планирование кадра, выдав DL-MAP и UL-MAP.

В процессе работы над QoS планировщиком очевидной стала необходимость тестового окружения, разработки симулятора, исследовать позволяющего процессы управления качеством сервиса в условиях, к реальным приближенных.

Цель симулятора – моделирование полного замкнутого цикла взаимодействия базовой и абонентской станций по передаче данных с соблюдением качества сервиса, в WiMax стандарте.

Симулятор работу абстрагирует выше- и нижестоящих уровней (относительно модуля QoS), обеспечивая тестирования и отладки QoS алгоритмов без реализации полной всего стека компонентов.

К функциям симулятора относятся:

- задание параметров базовой станции;
- задание сервисных потоков и соединений массивом одного типа в статическом режиме, т.е. при инициализации базовой и абонентских станций;
- задание сервисных потоков и соединений массивом одного типа в динамическом режиме;
- задание карты модуляций для каждой станции SS в статическом и динамическом режимах;
- моделирование наполнения очередей для каждого соединения (абстрагирование пользовательских данных от вышестоящего уровня) на BS и SS;
- моделирование по радиointерфейсу отправки данных на BS и SS, т.е. моделирование работы драйвера физического уровня без учета фрагментации пакетов;
- моделирование по радиointерфейсу отправки данных на BS и SS с учетом фрагментации пакетов;
- формирование карт DL-MAP планировщиком QoS по запросу симулятора для каждого сле-дующего фрейма, с учетом параметров QoS, карты модуляций и загруженности очередей;
- формирование карт UL-MAP планировщиком QoS по запросу симулятора для каждого сле-дующего фрейма, с учетом параметров QoS, карты модуляций и запросов полосы (BR – bandwidth request) от абонентских станций;
- моделирование запросов полосы — BR от абонентских станций на основе QoS параметров и загруженности очередей данных;
- журнала событий ведение отдельных сущностей BS, SS и симулятора в целом;
- верификация выдаваемых DL-MAP и UL-MAP на соответствие ограничениям (повторный контроль соблюдения условий и правил стандарта, параметров QoS, заполненности очередей и т. д.);
- мониторинг производительности сети (пропускная способность в течение определенного времени, % использования канала).

### 3.3.1 Реализация симулятора

Прототипы планировщика и симулятора на языке программирования C++ написаны с использованием STL библиотеки (Standard Template Library) и под управлением работают операционных систем семейства GNU/Linux.

Схема работы симулятора представлена на рисунке 3.9.



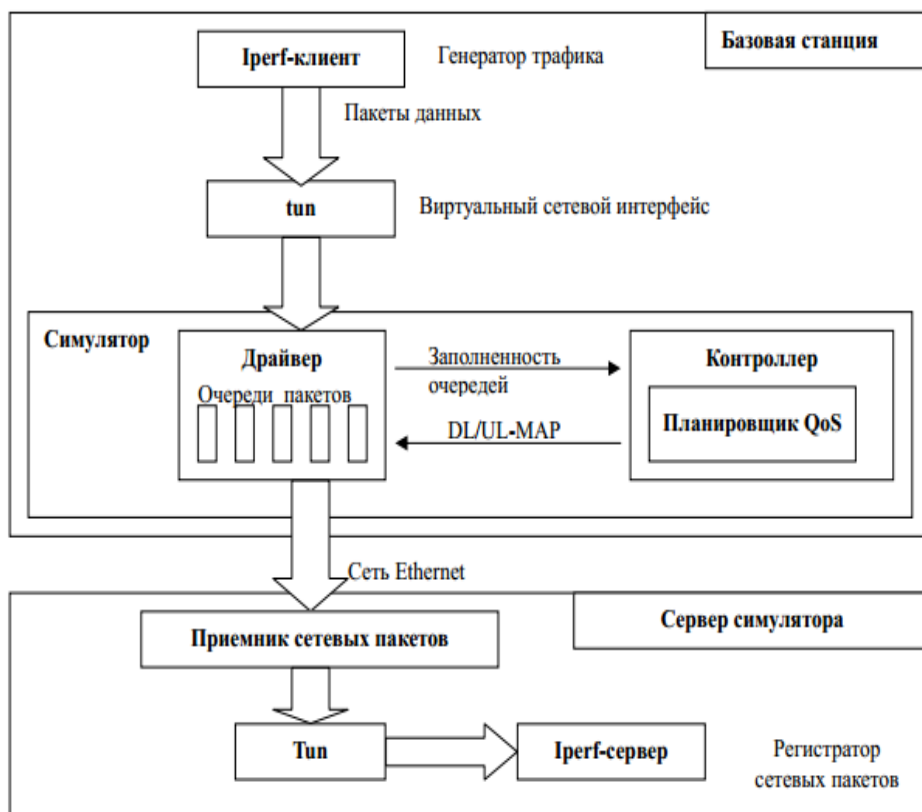


Рисунок 3.9 – Схема работы симулятора QoS

Симулятор использует в своей работе драйвер виртуальных сетевых устройств TUN/TAP [5].

Драйвер создать позволяет виртуальную карту сетевую и ее ассоциировать с определенным IP-адресом. Виртуальная карта сетевая так же работает, как реальная, с разницей той, что прикладному процессу в процесс отправки вмешиваться и получения сетевых пакетов. Фактически симулятор пакеты, отправляемые перехватывает генератором трафика (в принципе, любым сетевым приложением) через виртуальный интерфейс, и их обрабатывает согласно QoS алгоритмам.

В качестве генератора IP-трафика утилита iperf (<http://iperf.sourceforge.net/>) выступает. Выбор инструмента этого возможностью обусловлен задания параметров генерируемого трафика (полосы пропускания, размера пакета) на передающей стороне и, соответственно, измерения возможности характеристик передаваемого трафика на принимающей стороне (количество потерянных пакетов, задержка, флуктуация задержки и т.д.).

В работе возможность исследуется обеспечения качества сервиса в сетях беспроводных с использованием QoS планировщика eXtended Network Simulator (XNS), предназначенного для тестирования работы алгоритмов обеспечения качества сервиса. Исследуем сеть, состоящую из 1 базовой станции и компьютера.

Целевая аппаратная платформа: CPU Pentium 4 2ГГц, 1MB L2 cash, HDD 250Gb SATA, 2Gb RAM. Обмен данными по радиоканалу заменен обменом по сети Ethernet.

Задачей планировщика разделение полосы радиоканала является между работающими сетевыми приложениями в соответствии с заказанными для каждого приложения параметрами качества связи. Разделение канала к разделению кадров канального уровня сводится, т.е. к формированию трафика.

Входными данными планировщика являются:

- 1) список сервисных потоков и их QoS параметры,
- 2) физические характеристики радиоканала,
- 3) размеры (заполненность) очередей пакетов.

Выходными данными являются карты типа UL-MAP и DL-MAP, которые описывают, данными каких сервисных потоков и в каком количестве заполнять восходящий и нисходящий подкадры соответственно.

Разрабатываемый планировщик располагается физически на базовой станции, поэтому полную информацию имеет об очередях данных, отправки ждущих от базовой к абонентским станциям (Downlink), но информации об очередях данных не имеет, на абонентских станциях расположенных (Uplink). Однако должен планировщик базовой станции распланировать как нисходящий подкадр, так и восходящий. Для этого в стандарте механизм предусмотрен запроса абонентскими станциями выделения полосы в восходящем подкадре – Bandwidth Request.

Симулятор работу абстрагирует выше- и нижестоящих уровней (относительно модуля QoS), возможность обеспечивая тестирования и отладки QoS алгоритмов без полной реализации стека всего компонентов.

Симулятор в работе своей драйвер виртуальных сетевых устройств TUN/TAP использует. Выбор виртуального сетевого интерфейса TUN/TAP продиктован основным требованием: продемонстрировать алгоритмов работу QoS обеспечения в условиях, приближенных к реальным, и измерить объективными средствами качество работы алгоритмов.

Использование виртуального сетевого интерфейса от необходимости избавляет создания сетевых драйверов (в терминах ОС Линукс) и тестировать позволяет работу алгоритмов QoS обеспечения на примере любых сетевых приложений, ориентированных на TCP/IP стек.

В качестве IP-трафика генератора выступает утилита iperf. Выбор этого инструмента возможностью обусловлен задания параметров генерируемого трафика (полосы пропускания, размера пакета) на передающей стороне и, соответственно, возможностью характеристик измерения передаваемого трафика на принимающей стороне (количество потерянных пакетов, задержка, флуктуация задержки и т.д.) [4].

На выходе формирует система файл отчета, пропускную способность сети отражающий при заданных параметрах нагрузки (см. таблицу 1).

В ходе тестирования число сервисных потоков менялось от 10 до 100, полоса каждого потока менялась в пределах от 1 до 600 Кбит/с (суммарно для 100 потоков – от 10 Кбит/с до 60 Мбит/с).

В качестве сетевого соединения использовалась сеть Gigabit Ethernet, пропускная способность которой – 1 Гбит/с – более чем на порядок превышает максимальную пропускную способность беспроводной сети – 70 Мбит/с, поэтому потерь из-за перегрузки сети не наблюдалось.

Таблица 3.3 – Результаты тестирования симулятора QoS, % потерянных пакетов от общего числа переданных

		Число потоков трафика (процессов iperf)									
Полоса пропускания каждого потока	Кбит/с	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1
200	0,08	0,08	0,08	0,08	0,24	0,16	0,16	0,24	0,08	0,08	0,24
400	0,04	0,04	0,08	0,16	0,12	0,12	0,24	0,1–40	0,1–40	0,1–40	2,8–9,5
600	0,027	0,11	0,11	0,21	0,16	24–45	45–55	27–40	22–39	15–77	

На рисунке 3.10 представлена зависимость потерянных пакетов от общего числа переданных.

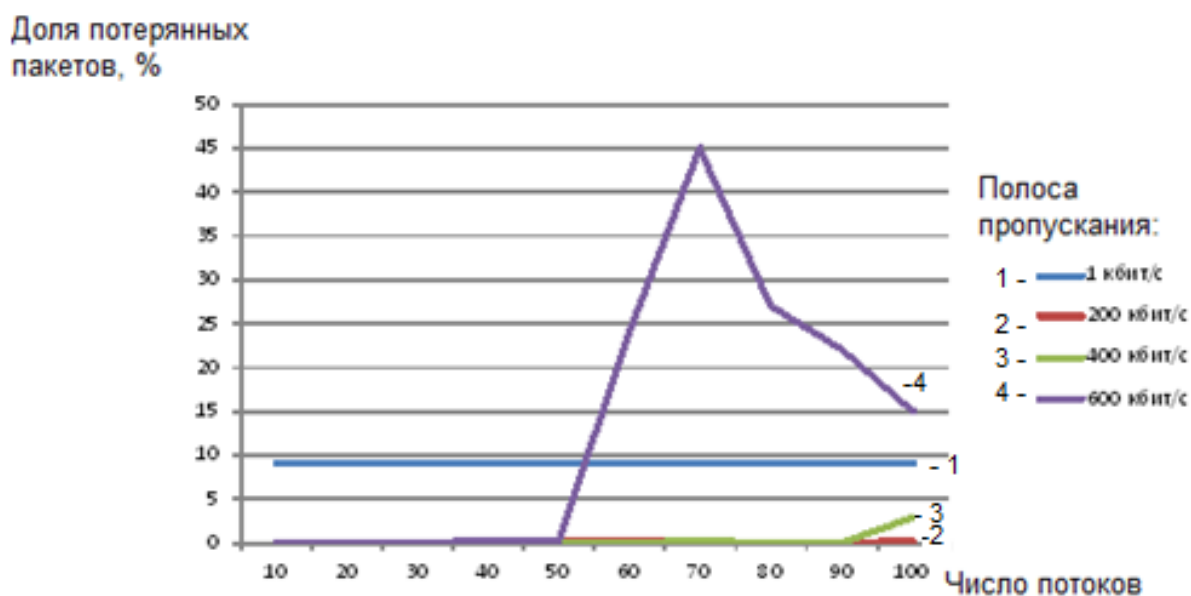


Рисунок 3.10 – Зависимость потерянных пакетов от общего числа переданных

Выбранная архитектура симулятора позволяет тестировать работу планировщика в условиях, приближенных к реальным. Из рисунка 3.10 видно, что при увеличении полосы пропускания уменьшается число потерянных пакетов. Пиковое значение потерянных пакетов при 600кбит/с говорит о том, что на каждом этапе потеря пакетов происходит из-за медленной обработки большого числа потоков, поступающих с сетевого уровня, от виртуального интерфейса TUN.

## **Заключение**

В данной магистерской диссертации рассмотрены были вопросы обеспечения качества обслуживания в сети беспроводной. Для осуществления данного исследования программный продукт OPNET Modeler используется. С помощью моделирования беспроводной сети произведен анализ параметров качества обслуживания QoS, приведены графики зависимостей задержки, потери пакетов, джиттера в зависимости от количества абонентов. Также был применен планировщик QoS eXtended Network Simulator (XNS), предназначенный для тестирования работы алгоритмов обеспечения качества сервиса. Выбранная архитектура симулятора позволяет тестировать работу планировщика в условиях, приближенных к реальным. При увеличении полосы пропускания уменьшается число потерянных пакетов. Пиковое значение потерянных пакетов при 600кбит/с говорит о том, что на каждом этапе потеря пакетов происходит из-за медленной обработки большого числа потоков, поступающих с сетевого уровня, от виртуального интерфейса Tun.

В ходе исследований было выявлено, что самый высокий класс качества QoS, нуждается в более высокой пропускной способности передачи и имеет более высокий процент потери пакетов.

Это объясняется тем фактом, что полоса пропускания будет распределяться между всеми хостами, а наиболее высший класс требует более высокой полосы пропускания.

## Список литературы

1. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5062485&isnumber=5062484>. С.54-59.
2. WiMAX // Википедия – свободная энциклопедия <http://ru.wikipedia.org/wiki/WiMAX>.
3. Развертывание сетей WiMAX. <http://bestreferat.ru/referat-141911.html>. С.115-120.
4. А.В. Рашич. Сети беспроводного доступа. <http://bib.convdocs.org/v31957/?download=1#1>. С.45-52.
5. Д. Молта. Обеспечение QoS в беспроводных ЛВС. [http://www.ccc.ru/magazine/depot/05\\_05/read.html?0102.htm](http://www.ccc.ru/magazine/depot/05_05/read.html?0102.htm) с.4-9.
- 6.С. Сюваткин, В.И. Есипенко WiMAX - технология беспроводной связи: теоретические основы, стандарты, применение. Санкт-Петербург. 2005 г. 257 с.
7. В. Вишневский, С. Портной, И. Шахнович. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. Техносфера, 2009. 458с.
8. А. Весоловский, Н. Кшиштоф. Системы подвижной радиосвязи. Горячая линия - Телеком, 2006. 215с.
9. В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Распаев. Сети и системы радиодоступа. Эко-Трендз, 2005. С.85-101.
10. Маковеева, Шинаков. Системы связи с подвижными объектами. Радио и связь, 2002. С.25-28.
11. А.С. Гринберг, В.М. Шестаков. Информационные технологии моделирования процессов управления экономикой Издательство: Юнити-Дана, 2003 г. С.63-68.
12. «Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. Практическое руководство по изучению, разработке и использованию беспроводных ЛВС стандарта 802.11» / ПеджманРошан, Джонатан Лиэри. – М.: CiscoPress Перевод с английского Издательский дом «Вильямс»,2004. 445с.
13. Е.В. Бортников. Моделирование процесса обеспечения качества сервиса в беспроводных сетях стандарта IEEE 802.16. Томск 2011 с.92-95. <http://www.tusur.ru/export/sites/ru.tusur.new/ru/science/events/session/211.pdf>
14. «Анатомия беспроводных сетей» / Сергей Пахомов. – Компьютер-Пресс, №7, 2002 с.50-53.
15. «Беспроводные сети. Первый шаг» / Джим Гейер. – М.: Издательство: Вильямс, 2005. 245с.
16. «Секреты беспроводных технологий» / Джек Маккалоу. – М.: НТ-Пресс, 2005.с. 85-89.
17. «Сборник научных трудов энергетика, радиотехника, электроника и связь» / Бекбатыров К., Есеркегенов А.С . – АУЭС, 2013. с. 36-37