

Крупин Евгений Игоревич

Исследование способов построения беспроводной Wi-Fi сети

Направление подготовки
11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
направленность – Сети, системы и устройства телекоммуникаций
программа академической магистратуры

АВТОРЕФЕРАТ
магистерской диссертации
на соискание квалификации (степени) магистра

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Научный руководитель, к.т.н. доцент
кафедры ВМиФ

В.Т. Куанышев

Рецензент

Защита состоится «30» июня 2020г. в 9 часов в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), г. Екатеринбург, ул. Репина, д. 15.

Секретарь Государственной аттестационной
комиссии

О.А. Шумилова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности.

На сегодняшний день Wi-Fi очень популярен среди людей всего мира. Каждый из нас привык видеть доступ в Интернет посредством Wi-Fi практически везде, где бы он не находился, будь то кафе или даже парк. Все больше предприятий реализуют в своих заведениях бесплатный Wi-Fi тем самым привлекая новых клиентов и стимулируя уже имеющихся на совершение дополнительных покупок.

Современный человек привык находиться в движении, и уже Wi-Fi, в стандартном его понимании, устарел, ему на смену пришел бесшовный роуминг внутри Wi-Fi сети. Бесшовный Wi-Fi роуминг позволяет человеку перемещаться, не заботясь о том, что он потеряет доступ в Интернет, тем самым продолжая спокойно, не отвлекаясь и с комфортом заниматься своими делами, а это может положительно сказываться на доходах заведения, в котором человек находится. Бесшовный Wi-Fi это прежде всего простота, удобство и комфорт для конечного пользователя.

Операторы связи предлагают бесшовный Wi-Fi потребителю, а предприниматели стараются внедрить данную технологию для стимулирования продаж. К сожалению, на текущий момент тематика бесшовной Wi-Fi сети раскрыта не в полной мере и нуждается в изучении.

Рассмотрение теоретических положений и обоснований бесшовной Wi-Fi сети приводит к правильному пониманию данной технологии, но как реализовать ее или какие существуют практические способы реализации бесшовной Wi-Fi сети, сразу же появляется проблема в нехватке информации по этому поводу.

На текущий момент на рынке можно встретить решения для организации бесшовной Wi-Fi сети от разных производителей, каждый из которых предлагает свой способ реализации услуги. Каждый производитель уверяет, что именно его продукт самый лучший, но так ли на самом деле, совершенно не понятно. Все решения базируются на стандарте IEEE 802.11, а технические характеристики оборудования у всех представителей услуг в целом одинаковые. Разница в продуктах обусловлена лишь ценой и способом реализации.

Нехватка информации, до покупки, по подключению и настройке сетевого оборудования является существенным недостатком данной тематики. Производитель лишь в общих чертах описывает возможности и алгоритм настройки, не углубляясь в детали.

Так же недостаточно информации, как Wi-Fi решение будет выглядеть со стороны конечного пользователя после установки и настройки оборудования.

Именно из-за нехватки информации, практическая сторона реализации бесшовной Wi-Fi сети актуальна.

Так же актуальность темы магистерской диссертации обусловлена программой «Цифровая экономика РФ», а именно федеральным проектом «Информационная инфраструктура». Тема диссертации пересекается с одной из задач проекта: оказание услуг по подключению к сети передачи данных, обеспечивающий доступ к единой сети передачи данных и (или) к сети Интернет.

Объект исследования – бесшовная Wi-Fi сеть.

Предмет исследования – параметры беспроводной сети и процесс настройки с целью практической реализации беспроводной Wi-Fi сети.

Целью работы является исследование способов построения беспроводной Wi-Fi сети.

Для достижения означенной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести анализ публикаций по теме исследования;
- 2) проанализировать основные решения для организации беспроводной Wi-Fi сети;
- 3) выбрать наиболее конкурентоспособный продукт;
- 4) собрать и настроить схему для проведения исследования беспроводной Wi-Fi сети;
- 5) исследовать беспроводную Wi-Fi сеть наиболее конкурентоспособного решения.

Научная новизна работы:

- выполнен анализ влияния процесса переключения пользователя между точками доступа на качество среды передачи

Теоретическая значимость исследования обоснована следующим:

- выполнено сравнение существующих решений для организации беспроводной Wi-Fi сети;

- раскрыты особенности организации беспроводной Wi-Fi сети на оборудовании MikroTik;

- описан процесс настройки сетевого оборудования компании MikroTik;

Практическая значимость.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается следующим:

- разработаны практические рекомендации по настройке сетевого оборудования для организации беспроводной Wi-Fi сети.

Методология и методы исследования. Решение поставленных задач осуществлялось с использованием метода системного анализа, метода экспертных оценок. Используются методы эмпирического исследования: эксперимент, сравнение, наблюдение.

Положения, выносимые на защиту:

- сравнение Wi-Fi решений от вендоров сетевого оборудования;
- сравнительный анализ решений для организации Wi-Fi роуминга;
- схема сети тестового стенда;
- влияние процесса переключения на конечного пользователя;
- влияние процесса переключения на качество канала связи;
- обмен сообщениями при смене точки доступа без использования access lists;
- обмен сообщениями при смене точки доступа с использованием access lists;
- обмен сообщениями при смене точки доступа, технология CAPsMAN.

Степень достоверности результатов исследования обусловлена следующими фактами:

- для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;

- теория построена на известных проверяемых данных с использованием методов теории принятия решений, теории моделирования, теории эксперимента, и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

- использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, а также новейшие способы и средства хранения информации с применением средств вычислительной техники.

Апробация результатов.

Основные результаты диссертации были получены и использованы в рамках реализации Федеральной целевой программы (ФЦП), а также ряда госбюджетных и хоздоговорных научно-исследовательских работ (НИР), в том числе:

1) Особенности организации беспроводной Wi-Fi сети на оборудовании MikroTik // Материалы XX научно-практической конференции студентов УрТИСИ СибГУТИ – Екатеринбург: Изд-во УрТИСИ СибГУТИ, 2018 г

2) Роль Wi-Fi роутинга в повышении качества обслуживания клиентов // Материалы научно-практической конференции студентов УрТИСИ СибГУТИ – Екатеринбург: Изд-во УрТИСИ СибГУТИ, 2019 г

3) Способы организации беспроводного Wi-Fi роутинга // Материалы научно-практической конференции студентов УрТИСИ СибГУТИ – Екатеринбург: Изд-во УрТИСИ СибГУТИ, 2019 г

4) Роль Wi-Fi роутинга в повышении качества обслуживания клиентов // COLLOQUIUM-JOURNAL. 2019. № 25-2 (49). С. 63-64 (РИНЦ).

5) Исследование беспроводной Wi-Fi сети на оборудовании MikroTik // 60-я Международная конференция «Развитие науки в 21-м веке». 2020. С. 93-105 (elibrary).

По теме диссертации опубликовано 5 научных работ, в том числе 1 статья в научном журнале, рекомендованного РИНЦ и 1 статья в научном журнале, входящем в сборник научной библиотеки elibreri, 3 статьи в сборниках и периодических изданиях. По теме диссертации опубликовано 4 отчетов о НИР, в которых автор указан в списке исполнителей.

Диссертационная работа включает введение, четыре главы, заключение, список литературы из 28 наименований, 2 приложения. Объем диссертации 103 страницы, включены также 40 рисунков, 4 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, приведена цель работы и сформулированы задачи для достижения поставленной цели. Сформулирована научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе **Анализ публикаций на тему исследования** были рассмотрены и проанализированы существующие наработки по теме диссертации.

Тематика беспроводной Wi-Fi сети хорошо раскрыта с теоретической стороны вопроса, можно не только найти определения терминам, но и углубленно погрузиться в изучение принципов работы стандартов беспроводной связи.

С практической стороны вопроса тематика беспроводной Wi-Fi сети раскрывается не в полной мере.

Большинство современных вендоров сетевого оборудования предлагают свои наработки и технические решения. Каждый производитель красочно описывает свой продукт, заверяя что именно его техническое решение самое лучше на рынке, но что же на самом деле предлагает производитель потребителю, не понятно. После детального изучения технической документации с официальных сайтов и форумах компаний производителей, можно сделать вывод о том, что она не раскрывает всех особенностей технического решения. В документации можно встретить элементы технического решения и их назначения, поддерживаемые протоколы и стандарты, так же встречаются пояснения к настройке сетевого оборудования, а вот как данное техническое решение будет работать на практике в них не описывается. В документации и рекламных брошюрах сложно найти полный план настройки сетевого оборудования, встречаются лишь пояснения элементов меню.

Так же необходимо отметить, как выбранное решение будет выглядеть со стороны конечного потребителя, для которого и реализуется беспроводная Wi-Fi сеть. К сожалению, официальные источники по тому или иному техническому решению в большинстве случаев умалчивают данную информацию, а если что, то и говорят, то ничего кроме положительных моментов нет. Если отойти от официальных источников, и искать нужную информацию на просторах интернет форумах или частных блогах, иногда можно наткнуться на своего рода кусочки целого и попытаться собрать общую картину описывающее техническое решение. Данной информации недостаточно и приходится проверять техническое решение на собственном опыте.

Именно отсутствие информации с практической стороны вопроса и делает тему магистерской диссертации актуальной.

Данная тема требует проведения дальнейших исследований. Результатом исследования будет разработка инженерно-технического решения полностью описывающего область применения, а также подробный процесс настройки сетевого оборудования, с указанием всех особенностей и недостатков на основании анализа параметров среды передачи данных, и проведения исследования по обмену сообщениями между участниками сети.

Во второй главе **Сравнительный анализ решений для организации беспроводной Wi-Fi сети** были изучены существующие на рынке решения для организации беспроводных Wi-Fi сетей. Были рассмотрены как малоизвестные

бренды, так и мировые гиганты в IT индустрии. К сожалению, в рамках научной работы рассмотреть абсолютно всех представителей рынка не составляет возможным. За основу рассмотрения, по соображению цена/качество/функциональность, были взяты Wi-Fi решения от компаний Hewlett-Packard, Aruba Networks, Ubiquiti Networks, Fortinet и MikroTik.

После проведения тщательного анализа рынка, были сформулированы основные критерии оценивая Wi-Fi решений, такие как: функциональность; надежность; самодостаточность; совместимость; управление; удобство; скорость работы; размер сети; стоимость. Методом экспертных оценок, был выявлен наиболее конкурентоспособный продукт, таблица 1, им оказалось решение от компании MikroTik, а точнее технология CAPsMAN.

Таблица 1 – Сравнительный анализ решений для организации Wi-Fi роуминга

Технологическое решение	Факторы оценки									Сумма баллов
	Размер сети	Функциональные возможности	Надежность	Самодостаточность (укомплектованность)	Совместимость с другими системами	Управление	Удобство	Скорость работы	Стоимость системы	
Fortinet	10	10	10	10	7	8	8	9	5	69
HPE Aruba Instant	6	9	7	6	6	3	8	8	8	61
CAPsMAN MikroTik	9	10	10	9	9	7	9	8	10	81
HP	10	6	8	3	8	5	6	7	7	60
Wi-Fi Ubiquiti UniFi	7	8	8	7	8	8	9	8	9	72

В ходе проведения сравнительного анализа решений организации Wi-Fi роуминга, было установлено, что наиболее конкурентоспособной оказалась решение от MikroTik, CAPsMAN.

В отличии от конкурентов, CAPsMAN является надежным продуктом, протестированным большим количеством потребителей. Решение от MikroTik один из самых бюджетных вариантов организации бесшовного роуминга, практически в неограниченных масштабах сети. Все зависит от производительности оборудования и пропускной способности канала. Линейка оборудования производимым MikroTik в полной мере удовлетворят всем потребностям для построения полноценной бесшовной Wi-Fi сети, так как компания производит не только точки доступа, но и маршрутизаторы и коммутаторы. Удобный Web интерфейс или специальное приложение для управления, позволит до мельчайших деталей настроить будущую сеть.

Так как наиболее конкурентоспособный продукт выявлен, а в рамках

магистерской диссертации рассмотреть абсолютно все Wi-Fi решения не составляет возможным, остановим свой выбор на технологии CAPsMAN от компании MikroTik. Именно на оборудовании MikroTik будет построена будущая W-Fi сеть, детально изучен процесс настройки, а также исследован процесс смены точки доступа соискателем Wi-Fi сети. В результате выполнения работы можно будет сделать вывод о преимуществах выбранной технологии и оборудования.

В третьей главе **Способы организации беспроводной Wi-Fi сети на оборудовании MikroTik** изучены возможности производителя программного и аппаратного обеспечения MikroTik в направлении организации беспроводной Wi-Fi сети. Как оказалось, компания уже не первый год на рынке, и зарекомендовала себя с очень хорошей стороны. Производитель занимается разработкой и продажей собственного сетевого оборудования, такого как маршрутизаторы, коммутаторы, точки доступа, радиооборудование. Помимо всего прочего компания занимается разработкой собственного программного обеспечения, под названием RouterOS, для сетевых устройств бренда. В ходе изучения технической документации, было установлено, что на оборудовании MikroTik можно реализовать две схемы с беспроводным Wi-Fi покрытием.

Схема с несколькими точками доступа и единым узлом агрегации, рисунок 1.

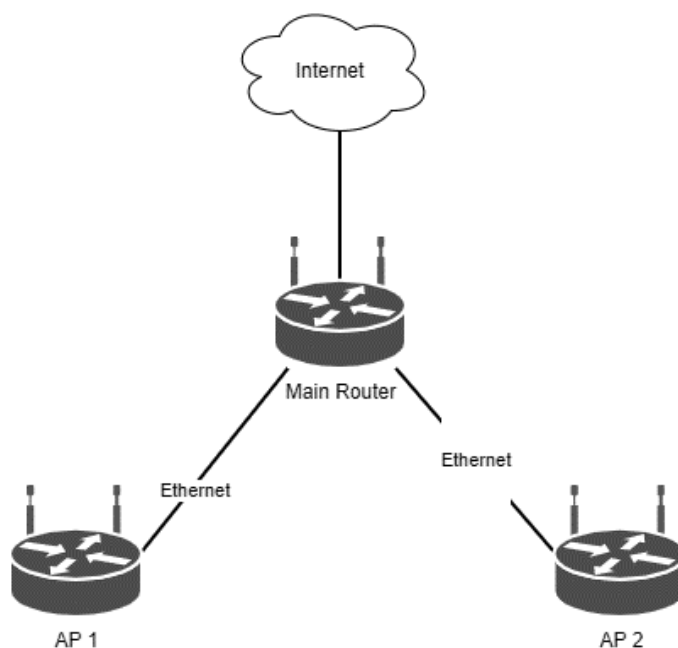


Рисунок 1 – Схема Wi-Fi сети

Основные особенности схемы с несколькими точками доступа и единым узлом агрегации:

- все точки доступа соединены между собой в единый канал связи;
- Wi-Fi покрытие точек доступа не имеет белых пятен;
- каждая точка доступа работает на своем частотном, не смежном, канале;
- SSID, ключ сети, тип шифрования, идентичные на каждой точке доступа;
- Main Router выступает в качестве узла агрегации, в то время как AP

выполняют роль транспорта;

- управление между устройства организовано по средствам L3-уровня;
- на каждом устройстве с поддержкой WLANинтерфейса настраивается SSID, тип и ключ шифрования;
- передача трафика от WLAN интерфейса до Main Router при помощи L2 канала;
- клиентский трафик и трафик управления не пересекаются;
- на Main Router настраивается доступ в интернет через стороннего провайдера;
- на Main Router прописывается шлюз под сеть управления сетевыми устройствам;
- на Main Router прописывается шлюз под клиентскую Wi-Fi сеть;
- на Main Router настраивается DHCP Server под клиентскую Wi-Fi сеть;
- на Main Router посредством NATреализуется доступ во внешнюю сеть из подсети выделенной под Wi-Fi.

Схема с применением технологии CAPsMAN.

Схема сети для тестирования технологии CAPsMAN будет такая же, как и при изучении обычной Wi-Fi сети, представленной на рисунке 1.

Настройка Main Router будет выполнена аналогичным образом, за исключением включения CAPsMAN контроллера. Точки доступа доводятся до сетевой доступность, после включается CAPsMAN и выбирается радио интерфейс.

В четвертой главе **Настройка бесшовной Wi-Fi сети на оборудовании MikroTik** производилась сборка тестового стенда и настройка сетевого оборудования MikroTik. Было собрано две схемы Wi-Fi сети, с применением технологии CAPsMAN и без. Выполнена полная настройка всех сетевых устройств в сети:

Настройка доступа в Интернет, Main Router:

- прописан IP-адрес, выданный Интернет-провайдером на Uplink интерфейсе;
- прописан дефолтный маршрут в сторону шлюза провайдера;
- разрешен доступ на устройства только по протоколу SSH;
- настройка Firewall;

Настройка сети управления, Main Router:

- на Main Router, создан bridge_mng;
- на Main Router, в bridge_mng добавлены интерфейсы в сторону других элементов сети;
- на Main Router, прописан IP-адрес из сети управления;
- на Main Router, создан pool IP-адресов из сети управления;
- на Main Router, настроен DHCP-Server для сети управления на интерфейсе bridge_mng;
- на Main Router, настроена привязка IP-адреса к MAC-адресу
- на AP, создан bridge_mng;
- на AP, в bridge_mng добавлены интерфейсы в сторону других элементов сети;

- на AP, настроен DHCP-Client на интерфейсе bridge_mng;
- Настройка стандартной схемы Wi-Fi:
- на Main Router и AP, создан bridge_Wi-Fi;
- на Main Router и AP, трафик Wi-Fi был вынесен в отдельный VLAN;
- на Main Router, прописан IP-адрес для подсети Wi-Fi;
- на Main Router, создан pool IP-адресов под Wi-Fi;
- на Main Router, настроен DHCP-Server под Wi-Fi;
- на Main Router, настроен NAT подсети выделенной под Wi-Fi через публичный IP-адрес;
- на Main Router и AP, настроен Security-Profiles;
- на Main Router и AP, настроен беспроводной интерфейс.
- Настройка схемы с использованием CAPsMAN:
- на Main Router, настройка CAPsMAN контроллера с указанием SSID, используемых частотных каналов, полосы, типа и ключа шифрования, правил распространения настроек на AP;
- на AP, настройка CAPsMAN Client с указанием радио интерфейса и IP-адреса контроллера.

Прочие настройки:

- задан идентификатор устройства;
- настройка часового пояса и NTP.

До мельчайших подробностей был рассмотрен каждый элемент управления и изучены возможные вариации настройки сетевого оборудования.

При первом знакомстве с оборудованием, можно потеряться в многообразии меню и кнопок, но спустя десять минут изучения рабочей среды, все становится логично и понятно. Стоит отметить, что при обоих способах построения Wi-Fi сети все настраивается достаточно просто, при этом присутствует гибкость настроек и их многообразие. После работы с оборудованием MikroTik, можно сделать вывод о его удобстве и многообразии настроек.

В пятой главе **Исследование бесшовной Wi-Fi сети на оборудовании MikroTik** было произведено испытание двух тестовых стендов, с использованием технологии CAPsMAN и схема с несколькими точками доступа и единым узлом агрегации.

Выполнено исследование влияние процесса переключения мобильного устройства между точками доступа на конечного пользователя. Испытание проводилось при совершении аудио и видео звонков через различные мессенджеры; при скачивании файлов с различных файловых серверов; при потоковом воспроизведении аудио и видео файлов с медиа ресурсов. Результат тестирования представлен в таблице 2.

На практике, конечный пользователь в момент переключения от одной точки доступа к другой испытывает кратковременное прерывание приложений реального времени, в пределах одной секунды в схеме без использования технологии CAPsMAN и до 0.8 секунды в схеме с использованием технологии CAPsMAN. При этом в приложениях, в которых акцент делался на качество аудио и видео связи, наблюдалось наиболее длительное время прерывания, в том время

как в приложениях со значительно худшими показателями качества связи, прерывание было слегка короче. При скачивании массивов данных, при испытании обеих схем, разрыва соединения не наблюдалось вне зависимости от используемого протокола загрузки, фиксировалась деградация скорости в момент перехода мобильного устройства между точками доступа. Деградация скорости при обеих схемах организации связи примерно одинаковая, 10-15%.

Был произведен тест качества канала в момент переключения мобильного устройства между точками доступа посредством утилит ping и iperf, таблица 3.

Как показал результат эксперимента с использованием утилиты ping с дефолтными ключами, при обеих схемах организации связи, с 30% вероятностью отправленный пакетов в момент перехода мобильного устройства от одной точки доступа к другой мог потеряться. Разницы в схемах наблюдалась лишь в задержке передачи пакетов, 900 мс без применения технологии CAPsMAN и 800 мс с применением CAPsMAN.

При исследовании влияния процесса перехода на пропускную способность канала, было установлено, что, при TCP соединении в стандартной схеме связи вне зависимости от размера передаваемых пакетов разрыва соединения не наблюдалось, деградации в скорости уловить не удалось.

Таблица 2 – Влияние процесса переключения на конечного пользователя

Схема сети	Голосовая связь	Видеосвязь	FTP скачивание	HTTP скачивание	Торрент
Wi-Fi без использования accesslist	<p>Вконтакте:</p> <ul style="list-style-type: none"> - теряется в среднем до 1,5 сек. разговора; - не всегда можно разобрать что было сказано. <p>Telegram:</p> <ul style="list-style-type: none"> - теряется в среднем до 1,5 сек. разговора; - не всегда можно разобрать что было сказано. <p>Whatsapp:</p> <ul style="list-style-type: none"> - теряется в среднем до 2 сек. разговора; - не всегда можно разобрать что было сказано. 	<p>Вконтакте:</p> <ul style="list-style-type: none"> - замирание картинки/звука в пределах 2 сек., моментальное возобновление картинки/звука; <p>Whatsapp:</p> <ul style="list-style-type: none"> - замирание картинки/звука в пределах 2 сек., возобновление картинки/звука с несколькими рывками; - можно потерять суть происходящего при смене кадра. 	<p>Без разрыва соединения;</p> <p>Незначительная просадка в скорости, до 10%.</p>	<p>Без разрыва соединения;</p> <p>Просадка в скорости до 50%.</p>	<p>Без разрыва соединения;</p> <p>Просадка в скорости до 20%.</p>

Продолжение таблицы 2.

Схема сети	Голосовая связь	Видеосвязь	FTP скачивание	HTTP скачивание	Торрент
Wi-Fi с использованием accesslist	<p>Вконтакте:</p> <ul style="list-style-type: none"> - теряется примерно 1 сек. разговора; - можно разобрать что было сказано. <p>Telegram:</p> <ul style="list-style-type: none"> - теряется примерно 1 сек. разговора; - можно разобрать что было сказано. <p>Whatsapp:</p> <ul style="list-style-type: none"> - теряется примерно 1-1,5 сек. разговора; - сложно разобрать что было сказано. 	<p>Вконтакте:</p> <ul style="list-style-type: none"> - замирание картинки/звука в пределах 1 сек., моментальное возобновление картинки/звука; - можно потерять суть происходящего при быстрой смене кадра. <p>Whatsapp:</p> <ul style="list-style-type: none"> - замирание картинки/звука в пределах 1,5 сек., возобновление картинки/звука с несколькими рывками; - можно потерять суть происходящего при средней скорости смены кадра. 	<p>Без разрыва соединения; Незначительная просадка в скорости, до 10%.</p>	<p>Без разрыва соединения; Просадка в скорости до 50%.</p>	<p>Без разрыва соединения; Просадка в скорости до 20%.</p>
CAPsMAN	<p>Вконтакте:</p> <ul style="list-style-type: none"> - теряется примерно 0,8 сек. разговора; - можно разобрать что было сказано. <p>Telegram:</p> <ul style="list-style-type: none"> - теряется примерно 1 сек. разговора; - можно разобрать что было сказано. <p>Whatsapp:</p> <ul style="list-style-type: none"> - теряется примерно 1,2 сек. разговора; - сложно разобрать что было сказано. 	<p>Вконтакте:</p> <ul style="list-style-type: none"> - замирание в пределах 0,8 сек., моментальное возобновление картинки/звука; - можно потерять суть происходящего при быстрой смене кадра. <p>Whatsapp:</p> <ul style="list-style-type: none"> - замирание в пределах 1,2 сек., возобновление картинки/звука с несколькими рывками; - можно потерять суть происходящего при средней скорости смены кадра. 	<p>Без разрыва соединения; Незначительная просадка в скорости.</p>	<p>Без разрыва соединения; Просадка в скорости до 50%.</p>	<p>Без разрыва соединения; Просадка в скорости до 20%.</p>

При TCP соединении с использованием CAPsMAN разрыва соединения не наблюдалось, фиксировался простой передачи в момент смены точки доступа мобильным устройством. При UDP разрыва связи не наблюдалось. Фиксировалась деградация скорости из-за потери отправленных пакетов, чем больше размер пакета, тем больше пакетов терялось. 60% потерь при отправке

пакетов размером 200 байт при стандартной схеме Wi-Fi сети, против 10% в схеме с применением технологии CAPsMAN при аналогичных параметрах.

Таблица 3 – Влияние процесса переключения на канал связи

Схема сети	Ping тест		Iperf тест			
	Дефолтные ключи	Интервал 200 мс	TCP		UDP	
			200 байт	1500 байт	200 байт	1500 байт
Wi-Fi сеть с несколькими точками доступа	- 30% вероятность потерять отправленный пакет в момент переключения между точками доступа; - при успешной доставке пакета в момент смены точки доступа, задержка возрастает до 800-900 мс	- 100% вероятность потерять отправленный пакет в момент переключения между точками доступа	- без разрыва соединения; - просадку по скорости уловить не удастся.	- без разрыва соединения; - просадку по скорости уловить не удастся.	- без разрыва соединения; - деградация скорости 50-60% - потеря пакетов 60-70%	- без разрыва соединения; - деградация скорости 70-80% - потеря пакетов 80-90%
CAPsMAN	- 30% вероятность потерять отправленный пакет в момент переключения между точками доступа; - при успешной доставке пакета в момент смены точки доступа, задержка возрастает до 700-800 мс	- 100% вероятность потерять отправленный пакет в момент переключения между точками доступа	- без разрыва соединения; - простой в передаче в момент смены точки доступа.	- без разрыва соединения; - простой в передаче в момент смены точки доступа.	- без разрыва соединения; - деградация скорости 40-50% - потеря пакетов 10-20%	- без разрыва соединения; - деградация скорости 40-50% - потеря пакетов 15-25%

При тестировании канала связи тяжелыми пакетами 1500 байт, наблюдалось 80% потерь без CAPsMAN и 20% потерь с ее использованием.

Был изучен процесс обмена сообщениями между мобильным устройством и точками доступа при помощи сетевого анализатора трафика OmniPeek и USB Wi-Fi-адаптер NETGEAR A6202 с драйвером на режим мониторинга.

Анализ перехваченных пакетов был разделен на несколько этапов:

- обнаружение Wi-Fi сети;
- первичная авторизация в Wi-Fi сети;
- процесс переключения между точками доступа.

Первый этап заключается в том, что мобильное устройство должно обнаружить Wi-Fi сети, которые в зоне его досягаемости.

На втором этапе, соискатель обращается к точке доступа с целью подключения с теми параметрами сети которые у него есть. Если ранее мобильное устройство не авторизовывалось, и не имеет в своей памяти ключа шифрования соответствующей данной Wi-Fi сети, оно получит отказ, с указанием необходимости ввода ключа шифрования. Пользователь указывает ключ, который отправляется к точке доступа на проверку.

На третьем этапе, мобильное устройство отключается от одной точки доступа и подключается к другой. Процесс обмена сообщениями при смене мобильным устройством точки доступа представлен на рисунках 2-4.

Packet	Source	Destination	BSSID	Signal	Data Rate	Size	Relative Time	Protocol
1	notebook	Ethernet Broadcast	AP-2	100%	54,0	271	30,127497	802.11 Encrypted Data
2	AP-2	notebook		100%	24,0	14	30,127544	802.11 Ack
3	AP-1	Ethernet Broadcast	AP-1	100%	1,0	206	31,556325	802.11 Beacon
4	notebook	Ethernet Broadcast	Ethernet Broadcast	94%	1,0	51	31,670877	802.11 Probe Req
5	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	51	31,745063	802.11 Probe Req
6	AP-1	notebook		100%	1,0	14	31,745379	802.11 Ack
7	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	34	31,759912	802.11 Auth
8	AP-1	notebook		100%	1,0	14	31,760262	802.11 Ack
10	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	34	31,791562	802.11 Auth
11	notebook	AP-1		100%	1,0	14	31,791834	802.11 Ack
12	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	77	31,793039	802.11 Assoc Req
13	AP-1	notebook		100%	1,0	14	31,793376	802.11 Ack
14	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	90	31,794794	802.11 Assoc Rsp
15	notebook	AP-1		100%	1,0	14	31,795721	802.11 Ack
16	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	31,795771	0F
17	notebook	AP-1		100%	1,0	14	31,796065	802.11 Ack
18	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	31,796482	SNA
19	notebook	AP-1		100%	1,0	14	31,796726	802.11 Ack
20	AP-1	notebook	AP-1		1,0	30	31,797481	0F
21	notebook	AP-1		100%	1,0	14	31,797727	802.11 Ack
22	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	31,799298	0F
23	notebook	AP-1		100%	1,0	14	31,799471	802.11 Ack
24	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	31,802245	SNA
25	notebook	AP-1		100%	1,0	14	31,802475	802.11 Ack
26	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	31,802983	0F
27	notebook	AP-1		100%	1,0	14	31,803228	802.11 Ack
28	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	31,804408	SNA
29	notebook	AP-1		100%	1,0	14	31,804658	802.11 Ack
30	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	31,805164	0F
31	notebook	AP-1		100%	1,0	14	31,805648	802.11 Ack
32	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	31,806047	SNA
33	notebook	AP-1		100%	1,0	14	31,806325	802.11 Ack
34	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	157	31,807783	EAPOL-Key
35	notebook	AP-1		100%	1,0	14	31,808442	802.11 Ack
36	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	157	31,810038	EAPOL-Key
37	AP-1	notebook		100%	1,0	14	31,810393	802.11 Ack
38	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	191	31,812415	EAPOL-Key
39	notebook	AP-1		100%	1,0	14	31,813136	802.11 Ack
40	AP-2	Ethernet Broadcast	AP-2	100%	1,0	206	31,817291	802.11 Beacon
41	notebook	AP-Main	AP-1	100%	24,0	112	31,817535	802.11 Encrypted Data
42	AP-1	notebook		100%	24,0	14	31,817607	802.11 Ack

Рисунок 2 – Процесс переключения между точками доступа без использования access lists

Как только ноутбук теряет связь с точкой доступа два, он начинает сразу же опрашивать сетевое окружение о том, кто из них работает на данном частотном канале. Незадолго до этого точка доступа один отправляет в окружающее пространство кадр-маяк о том, что она вещает на данном частотном канале. После этого ноутбук начинает процесс авторизации с точкой доступа, один по тем данным, которые у него остались при сопряжении с точкой доступа два. Так же происходит процесс согласования среды передачи между точкой доступа и ноутбуком. Как только процесс сверки ключа шифрования завершен, ноутбук выходит в сеть.

Без использования access lists процесс переключения не всегда однозначный, ноутбук может несколько раз отключиться и подключиться к первоначальной точке доступа, так же страдает качество связи из-за ухудшения уровня сигнала. При таком способе организации связи, о каком-либо роуминге не может быть и речи. В данном случае происходит процесс повторной автоматической авторизации к прежней беспроводной сети.

Packet	Source	Destination	BSSID	Signal	Data Rate	Size	Relative Time	Protocol
1	notebook	Ethernet Broadcast	AP-2	100%	54,0	271	26,948825	802.11 Encrypted Data
2	AP-2	notebook	AP-2	100%	24,0	14	26,948871	802.11 Ack
3	AP-2	notebook	AP-2	100%	1,0	30	27,835994	802.11 Deauth
4	notebook	AP-2	AP-2	100%	1,0	14	27,836353	802.11 Ack
5	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	51	28,623532	802.11 Probe Req
6	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	14	28,623826	802.11 Ack
7	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	34	28,672493	802.11 Auth
8	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	14	28,672837	802.11 Ack
9	AP-1	AP-1	AP-1	100%	1,0	14	28,684245	802.11 Ack
10	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	34	28,685002	802.11 Auth
11	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	14	28,685620	802.11 Ack
12	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	77	28,686654	802.11 Assoc Req
13	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	14	28,686838	802.11 Ack
14	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	90	28,690202	802.11 Assoc Rsp
15	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	14	28,691104	802.11 Ack
16	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	28,691204	XNS
17	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	14	28,691605	802.11 Ack
18	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	28,692067	SNA
19	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	14	28,692316	802.11 Ack
20	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	28,692947	XNS
21	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	14	28,693189	802.11 Ack
22	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	28,693693	SNA
23	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	14	28,694068	802.11 Ack
24	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	28,694568	XNS
25	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	14	28,694815	802.11 Ack
26	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	28,695317	SNA
27	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	14	28,695728	802.11 Ack
28	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	28,696202	XNS
29	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	14	28,696438	802.11 Ack
30	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	28,696946	SNA
31	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	14	28,697436	802.11 Ack
32	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	30	28,698069	XNS
33	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	14	28,698316	802.11 Ack
34	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	157	28,702971	EAPOL-Key
35	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	14	28,703190	802.11 Ack
36	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	157	28,705084	EAPOL-Key
37	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	14	28,705444	802.11 Ack
38	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	191	28,707463	EAPOL-Key
39	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	14	28,707689	802.11 Ack
40	notebook	AP-1	AP-1	100%	1,0	135	28,709578	EAPOL-Key
41	AP-1	notebook	AP-1	100%	1,0	14	28,709861	802.11 Ack
42	notebook	Ethernet Broadcast	AP-1	100%	36,0	386	28,720513	802.11 Encrypted Data
43	AP-1	notebook	AP-1	100%	24,0	14	28,720560	802.11 Ack

Рисунок 3 – Процесс переключения между точками доступа с использованием access lists

Процесс авторизации с новой точкой доступа совпадает, разница лишь в

процессе отключения от первоначальной точки доступа. Когда уровень сигнала между точкой доступа и ноутбуком становится ниже заявленного в access lists, точка доступа отправляет ноутбуку сообщение о том, что авторизация с точкой доступа завершена. После получения данного пакета или отключением от сети (если пакет до соискателя не долетел), ноутбук начинает попытки авторизации с другой точкой доступа, имеющей тот же SSID.

Преимущества данного метода заключается в том, что разъединение с точкой доступа может происходить на заранее выбранном уровне сигнала, тем самым исключив необходимость до последнего находиться за точкой доступа даже при плохом уровне сигнала.

Packet	Source	Destination	BSSID	Signal	Data Rate	Size	Relative Time	Protocol
1	AP-2	notebook	AP-2	5%	1,0	280	24,308854	802.11 Probe Rsp
2	AP-2	AP-2		63%	1,0	14	24,352661	802.11 Ack
3	notebook	Ethernet Broadcast	Et...	63%	1,0	86	24,419217	802.11 Probe Req
4	AP-1	notebook	AP-1	50%	1,0	280	24,437217	802.11 Probe Rsp
5	notebook	AP-1		63%	1,0	14	24,437735	802.11 Ack
6	AP-1	notebook	AP-1	68%	1,0	280	24,529989	802.11 Probe Rsp
7	notebook	AP-1		2%	1,0	14	24,530499	802.11 Ack
8	AP-1	notebook	AP-1	65%	1,0	280	24,588797	802.11 Probe Rsp
9	notebook	AP-1		10%	1,0	14	24,589033	802.11 Ack
10	AP-1	notebook	AP-1	73%	1,0	280	24,853855	802.11 Probe Rsp
11	notebook	AP-1		65%	1,0	14	24,854011	802.11 Ack
12	notebook	AP-1			1,0	86	24,873411	802.11 Probe Req
13	AP-1	notebook		5%	1,0	14	24,873685	802.11 Ack
14	AP-1	notebook	AP-1	70%	1,0	280	24,876435	802.11 Probe Rsp
15	notebook	AP-1		68%	1,0	14	24,876544	802.11 Ack
16	notebook	AP-1		65%	1,0	34	24,877032	802.11 Auth
17	AP-1	notebook		73%	1,0	14	24,877412	802.11 Ack
18	AP-1	notebook	AP-1	73%	1,0	34	24,878156	802.11 Auth
19	notebook	AP-1		65%	1,0	14	24,878835	802.11 Ack
20	notebook	AP-1		65%	1,0	163	24,880450	802.11 Assoc Req
21	AP-1	notebook			1,0	14	24,880796	802.11 Ack
22	AP-1	notebook	AP-1	76%	1,0	159	24,889651	EAPOL-Key
23	notebook	AP-1		68%	1,0	14	24,890015	802.11 Ack
24	notebook	AP-1		65%	1,0	159	24,891910	EAPOL-Key
25	AP-1	notebook		70%	1,0	14	24,892267	802.11 Ack
26	AP-1	notebook	AP-1	73%	1,0	193	24,913374	EAPOL-Key
27	notebook	AP-1			1,0	14	24,913549	802.11 Ack
28	notebook	AP-1		65%	1,0	137	24,917570	EAPOL-Key
29	AP-1	notebook		73%	1,0	14	24,917911	802.11 Ack
30		AP-2		63%	1,0	14	24,923274	802.11 Ack
31	notebook	AP-1		65%	1,0	37	24,965658	802.11 Action
32	AP-1	notebook		68%	1,0	14	24,965925	802.11 Ack
33	AP-1	notebook	AP-1	65%	1,0	37	24,967268	802.11 Action
34	notebook	AP-1		63%	1,0	14	24,967636	802.11 Ack
35	AP-1	notebook	AP-1	68%	1,0	37	24,989020	802.11 Action
36	notebook	AP-1		65%	1,0	37	25,004015	802.11 Action
37	AP-1	notebook		70%	1,0	14	25,004369	802.11 Ack
38	AP-1	notebook	AP-1	70%	1,0	37	25,004993	802.11 Action
39	notebook	AP-1		65%	1,0	14	25,005273	802.11 Ack
40	notebook	Mcast IP IANA80...	AP-2		1,0	92	25,006623	802.11 Encrypted Data

Рисунок 4 – Процесс переключения при использовании CAPsMAN

Как видно из рисунка, существенных отличий при использовании CAPsMAN нет. Разница лишь в том, в каком пакете точка доступа инициирует процесс разъединения с соискателем в момент ухудшения сигнала, после происходит стандартный процесс подключения к Wi-Fi сети рассмотренный в примере без использования технологии CAPsMAN.

Как видно из проведенных тестов, при использовании технологии CAPsMAN каких-либо процессов реализации роуминга не выявлено. Сокращение времени переключения обусловлено лишь централизованной схемой включения и

быстротой обработки данных центральным устройством.

Как оказалось, при обеих схемах включения, обмен сообщениями между устройствами идентичен, а разница в скорости переключения обусловлена исключительно логикой обработки информации со стороны Main Router.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской диссертации была поставлена и достигнута цель - исследованы способы построения беспроводной Wi-Fi сети.

Для достижения поставленной цели был решен ряд задач.

Проведен анализ публикаций по теме исследования. В ходе изучения публикаций, было установлено, что с теоретической стороны вопроса тема магистерской диссертации раскрыта в полной мере, а с практической стороны вопроса, нуждается в доработке и дальнейших исследованиях.

Проанализированы основные решения для организации беспроводной Wi-Fi сети. Было выполнено сравнение таких вендоров сетевого оборудования как HP, Ubiquiti, Aruba, Fortinet, MikroTik. Другие вендоры по соображению соотношения цены, качества и функциональности не рассматривались.

Выбран наиболее конкурентоспособный продукт. Методом экспертных оценок был выбран наиболее конкурентоспособный продукт, им оказалась технология CAPsMAN от компании MikroTik.

Собрана и настроена схема для проведения исследования беспроводной Wi-Fi сети. На оборудовании компании MikroTik было собрано две схемы беспроводной Wi-Fi сети, с использованием технологии CAPsMAN и без нее. Полностью выполнен процесс настройки сетевого оборудования, начиная от доступа в Интернет, заканчивая настройкой NTP.

Исследована беспроводная Wi-Fi сеть наиболее конкурентоспособного решения. Исследовано влияние роуминга на конечного пользователя. Исследовано влияние роуминга на качество канала связи. Изучен обмен сообщениями между точками доступа и мобильным устройством в момент переключения мобильного устройства между точками доступа.

Каждое существующее техническое решение для организации беспроводной Wi-Fi сети требует свой индивидуальный подход в зависимости от целей использования, плана помещения или территории, а также других параметров. Стоит отметить, что отсутствует единое, унифицированное решение для организации беспроводной Wi-Fi сети.

Наиболее конкурентоспособным решением для организации беспроводной Wi-Fi сети является технология CAPsMAN от компании MikroTik. MikroTik в отличии от конкурентов:

- является надежным продуктом, протестированным большим количеством потребителей; одни из самых бюджетных вариантов организации беспроводного роуминга;

- масштаб сети на оборудовании MikroTik практически ничем не ограничен, все зависит от производительности оборудования и пропускной способности канала;

- линейка выпускаемого оборудования в полной мере удовлетворят всем потребностям для построения полноценной беспроводной Wi-Fi сети; так как

компания производит не только точки доступа, но и маршрутизаторы и коммутаторы;

- помимо доступа по Telnet и SSH имеет удобный Web-интерфейс, а также специальное приложение для управления;

- позволяет до мельчайших деталей настроить сетевое оборудование.

Функциональные возможности настройки сетевого оборудования MikroTik практически безграничны, что позволяет реализовать одну и ту же задачу несколькими способами. Функцию контроллера CAPsMAN, может выполнять как отдельное устройство, так и одна из точек доступа, все зависит от реализуемых задач.

Использование технологии CAPsMAN по сравнению с обычной схемой организации беспроводной Wi-Fi сети положительно сказывается на качестве сервиса, предоставляемого клиенту. Незначительно сокращается время «простоя» в приложениях реального времени.

При оценке качества канала связи при смене точки доступа со стороны мобильного устройства, в схеме с использованием технологии CAPsMAN снижается задержка при отправке данных в момент переключения между точками доступа. При установлении UDP соединения так же уменьшается количество потерянных данных по сравнению со схемой без использования технологии CAPsMAN, а при TCP соединении, наблюдается простой передачи в момент смены точки доступа со стороны мобильного устройства. При обеих схемах организации связи разрыва соединения в момент переключения не происходит. При использовании технологии CAPsMAN, на 10% снижается просадка в скорости передачи в момент переключения.

При построении беспроводной Wi-Fi сети без использования технологии CAPsMAN, наилучший результат показала схема с использованием access lists. При настройке access lists мобильное устройство отключается от точки доступа при просадке уровня сигнала, тем самым, не внося потери в канал связи из-за необходимости быть подключенной к точке доступа «до последнего» даже при плохом уровне сигнала. Так же мобильное устройство не пытается повторно подключаться к прежней точке доступа, с которой ранее была потеряна связь из-за деградации уровня сигнала.

При исследовании обмена сообщений в схеме с использованием технологии CAPsMAN, можно сказать следующее, тип сообщений и данные содержащиеся в них, никак не отличаются от сообщений передаваемых при стандартной схеме организации беспроводной Wi-Fi сети, сокращается лишь время обработки информации со стороны центрального маршрутизатора. Тем самым, можно сделать вывод, что использование технологии CAPsMAN никак не позволяет реализовать функцию роуминга в Wi-Fi сети.

При использовании CAPsMAN, Wi-Fi сеть может быть беспроводной, но роуминг в ней не может быть и речи, его нет. Инициатива о смене точки доступа полностью возложена на мобильное устройство, контроллер лишь может отключить клиента при достижении определенного уровня сигнала, а процесс последующего подключения возложен на клиента. Тем самым, мобильное устройство может и вовсе повторно не подключиться ни к одной из точек

доступа.

На основе данной технологии можно значительно сократить время настройки сетевого оборудования при использовании в схеме более трех точек доступа, так как все настройки подтянутся автоматически с контроллера. Упрощается процесс администрирования сети, так как 80% всех настроек находится на контроллере, точки доступа необходимо лишь довести до сетевой доступности на L3 или L2 уровне.

Применение схемы сети с использованием технологии CAPsMAN больше всего подойдет в следующих случаях:

- планируется охватить Wi-Fi сетью большую территорию и количество элементов сети более трех;

- конечному пользователю не требуется постоянное перемещение между точками доступа;

- наличие Интернета при перемещении пользователя не является критичным, то есть, другими словами, данное решение наиболее эффективно для применения в парках, торговых центрах и других местах массового посещения людей;

- бюджет Wi-Fi сети ограничен.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1) Особенности организации беспроводной Wi-Fi сети на оборудовании MikroTik // Материалы XX научно-практической конференции студентов УрТИСИ СибГУТИ – Екатеринбург: Изд-во УрТИСИ СибГУТИ, 2018 г

2) Роль Wi-Fi роуминга в повышении качества обслуживания клиентов // Материалы научно-практической конференции студентов УрТИСИ СибГУТИ – Екатеринбург: Изд-во УрТИСИ СибГУТИ, 2019 г

3) Способы организации беспроводного Wi-Fi роуминга // Материалы научно-практической конференции студентов УрТИСИ СибГУТИ – Екатеринбург: Изд-во УрТИСИ СибГУТИ, 2019 г

4) Роль Wi-Fi роуминга в повышении качества обслуживания клиентов // COLLOQUIUM-JOURNAL. 2019. № 25-2 (49). С. 63-64 (РИНЦ).

5) Исследование беспроводной Wi-Fi сети на оборудовании MikroTik // 60-я Международная конференция «Развитие науки в 21-м веке». 2020. С. 93-105 (elibrary).