

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет» (НИУ)
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Инфокоммуникационные технологии»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой ИКТ, д.т.н.

_____ С.Н. Даровских

« ____ » _____ 2020г.

**Моделирование в стандартах беспроводных локальных компьютерных
сетей IEEE 802.11ax Wi-Fi 6.**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–Д.11.03.02.2020.114.00ПЗ ВКР

Руководитель работы,

Должность доцент каф. ИКТ:

_____ В.В. Спицын

« ____ » _____ 2020 г.

Автор работы,

студент группы КЭ-411:

_____ Н.И. Суворков

« ____ » _____ 2020 г.

Нормоконтролер:

_____ В.Д. Спицына

« ____ » _____ 2020 г.

Челябинск 2020

РЕФЕРАТ

Суворков Н.И. Моделирование в стандартах беспроводных локальных компьютерных сетей IEEE 802.11ax Wi-Fi 6– Челябинск: ЮУрГУ, КЭ-411,2020. – 43 с., 21ил., библиогр. список – 4 наим.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ: Анализ беспроводных стандартов Wi-Fi.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: провести сравнительный анализ эффективности работы Wi-Fi пятого и шестого поколения сети.

ЦЕЛИ:

- изучить особенности имеющихся стандартов Wi-Fi;
- провести анализ этих стандартов;
- сравнить между собой 802.11ac и 802.11ax;
- осуществить анализ сетей с помощью программ Wi-Fi Analyzer и Wireshark;
- изучить методы работы Wireshark.

| | | | | | | | | |
|------------------|-------------|-----------------------|----------------|-------------|--|----------------------|-------------|---------------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ–Д.11.03.02.2020.114.00 ПЗ ВКР</i> | | | |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | | | |
| <i>Разраб.</i> | | <i>Суворков Н.И.</i> | | | <i>Моделирование в стандартах беспроводных локальных компьютерных сетей IEEE 802.11ax Wi-Fi 6</i> 5 | <i>Лит.</i> | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Провер.</i> | | <i>Спицын В.В.</i> | | | | | 5 | 43 |
| <i>Н. Контр.</i> | | <i>Спицына В.Д.</i> | | | | Кафедра «ИКТ» | | |
| <i>Утверд.</i> | | <i>Даровских В.Н.</i> | | | | | | |

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|--|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 7 |
| 1 Динамика рынка | 10 |
| 2 Что такое 802.11ax?..... | 13 |
| 2.1 Движущая сила для 802.11ax | 13 |
| 2.2 Увеличение пропускной способности в 802.11ax..... | 14 |
| 2.3 IEEE 802.11ax и детерминизм..... | 16 |
| 2.3.1 Три аспекта распределения ресурсов..... | 17 |
| 2.3.2 Гибкое планирование маломощных устройств..... | 18 |
| 2.3.3 Повышение пропускной способности при одновременном снижении неопределенности планирования | 19 |
| 2.4 Надежность 802.11ax | 21 |
| 3 Обзор технологий..... | 24 |
| 3.1 OFDMA и распределение единиц ресурсов | 24 |
| 3.2 1024QAM..... | 26 |
| 3.3 Пространственное повторное использование и OBSS..... | 28 |
| 3.4 Скорости в частотных диапазонах | 31 |
| 4 802.11ax сейчас | 31 |
| 5 Реалии стандарта IEEE 802.11ax..... | 32 |
| 6 Работа в программе Wi-Fi Analyzer..... | 34 |
| 7 Работа в Wireshark..... | 37 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 42 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | Ошибка! Закладка не определена. |

ВВЕДЕНИЕ

Беспроводная связь развивается, управляется большим количеством устройств, большим количеством соединений и более требовательными к пропускной способности приложениями. Будущим сетям потребуется больше беспроводной мощности и надежности. Вот где появляется шестое поколение Wi-Fi.

Появляющийся стандарт IEEE 802.11ax — это последний шаг в путешествии безостановочных инноваций. Он стоит на сильных сторонах 802.11ac, добавляя гибкость и расширяемость, что позволяет новым и существующим сетям питать приложения следующего поколения. IEEE 802.11ax соединяет свободу и высокую скорость гигабитного беспроводного соединения с предсказуемостью, которая есть в лицензированном радиовещании (LTE).

IEEE 802.11ax позволяет предприятиям и поставщикам услуг поддерживать новые и новые приложения в одной и той же инфраструктуре беспроводной локальной сети (WLAN), обеспечивая при этом более высокий уровень обслуживания для более старых приложений. Этот сценарий закладывает основу для новых бизнес-моделей и более широкого внедрения Wi-Fi.

IEEE 802.11ax позволяет точкам доступа поддерживать больше клиентов в плотных средах и обеспечивает лучшее соединение для беспроводных локальных сетей. Он также обеспечивает более предсказуемую производительность для продвинутых приложений, таких как: видео в разрешении 4K/Ultra HD, беспроводной офис и Интернет вещей (IoT). Гибкое планирование времени пробуждения позволяет устройствам находиться в спящем режиме гораздо дольше, чем при использовании 802.11ac, и сталкиваться с меньшим количеством конфликтов, продлевая срок службы батареи смартфонов, устройств интернета вещей и других устройств.

IEEE 802.11ax достигает этих преимуществ, нажимая на три главных изменения:

- модуляция более плотная, используя амплитудную модуляцию квадратуры 1024 (QAM), включая увеличение скорости больше чем-35 процентов;
- ортогональное разделение частоты множественный доступ (OFDMA)-основанное планирование для уменьшения накладных расходов и задержки;
- робастная высоко эффективная передача данных для лучшей деятельности на значительно более низкой индикации энергии принятого сигнала (RSSI).

Технология IEEE 802.11ax OFDMA позволяет так же точкам доступа 802.11ax первой волны поддерживать восемь пространственных потоков и доставлять до 4800 Мбит/с на физическом уровне, в зависимости от реализации поставщика. Все подключенные устройства будут достигать более высокой эффективной пропускной способности на уровне MAC, для лучшего общего пользовательского опыта.

В отличие от 802.11ac, 802.11ax – это двухдиапазонная технология 2,4-и 5-ГГц, поэтому клиенты с частотой 2,4 ГГц могут сразу же воспользоваться ее преимуществами. Самое главное, поддержка 802.11ax 2.4-ГГц значительно увеличивает диапазон Wi-Fi, добавляя основанное на стандартах зондирование и формирование луча, а также позволяя использовать новые возможности использования и бизнес-модели для внутреннего и наружного покрытия.

IEEE 802.11ax улучшит существующие развертывания 802.11a/g/n/ac, даже если они не будут полностью обновлены до 802.11ax немедленно. OFDMA полностью совместим с традиционным EDCA / CSMA. Во-вторых, 802.11a/g/11n/11ac мониторинг и беспроводные системы защиты от вторжений (Wireless Intrusion Protection Switching (WIPS) могут продолжать декодировать большинство кадров управления, таких как маяк и зондирование запроса / ответа кадров, даже при отправке в новом формате пакетов 802.11ax.

IEEE 802.11ax был разработан для обеспечения максимальной совместимости, эффективно сосуществуя с устройствами 802.11a/n/ac. Его новая преамбула (HE-SIG-A/B) следует традиционной преамбуле 802.11a/g/n/ac и расширениям для процедур запроса к отправке/готово к отправке (RTS/CTS) для многопользовательских процедур, чтобы помочь избежать конфликтов со старыми устройствами в однопользовательском режиме.

Появление стандарта 802.11ax является значительным шагом вперед в области беспроводных технологий, открывая реальные преимущества для предприятий и организаций поставщиков услуг с течением времени.

1 Динамика рынка

Анализ предыдущих станций сетей, работающих на 802.11, показывает, что каждое поколение поставляло увеличивающуюся пропускную способность и покрытие пользователям для поддержки расширения и уплотнения корпоративных сетей. Однако рассмотрение будущих беспроводных сетей показывает, что следующее поколение должно не только поддерживать это продолжающееся расширение, но и предлагать более высокий уровень обслуживания для существующих сетей. В частности, существует растущая потребность в поддержке видео 4K / 8K; дополненной и виртуальной реальности (AR / VR); и IoT для корпоративных задач, в дополнение к надежному расширению мобильных основных возможностей, все из которых требуют более высокой степени детерминированного поведения, чем это было достигнуто в предыдущих поколениях Wi-Fi.

Исторически сложилось так, что каждое поколение сотовой связи (2G, 3G и 4G) разгружало все больше и больше трафика на Wi-Fi, в том числе предприятия из-за его превосходящих скоростей и экономики. В будущем (2020+ ясно, что даже новейшая сотовая технология (5G) потребует значительной пропускной способности Wi-Fi, поддерживающей голосовые и видеосервисы класса «Носитель», которые лучше всего поставляются с 802.11ax и его сотовой возможностью планирования (см. рисунок 1).

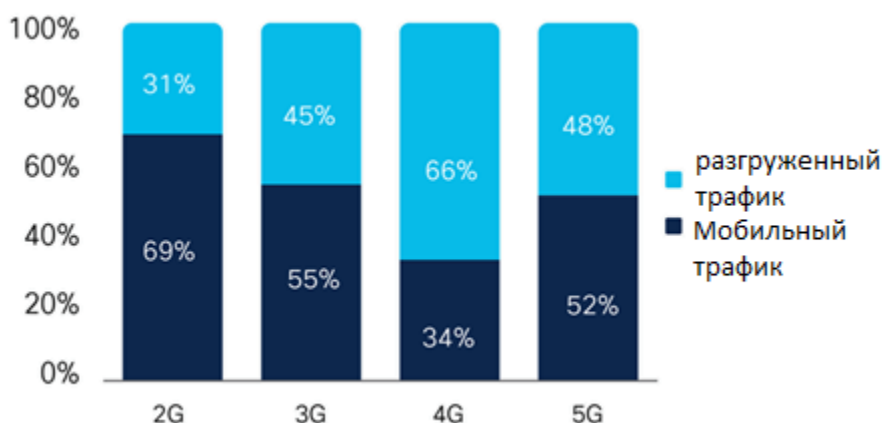


Рисунок 1 – Важная тенденция

Интернет вещей (IoT) представляет собой значительную проблему для предприятий: как безопасно и легко подключить сотни или тысячи электронных устройств к корпоративной сети ИТ, соответствующей их эксплуатационным и инженерным потребностям. В отличие от пользовательских устройств, таких как ноутбуки, устройства IoT либо нуждаются в детерминированной беспроводной службе (например, проверки каждые 5 мс, или устройство будет выключено), либо в маломощном обслуживании (то есть «если нет сигнала, то в нём нет необходимости»). Традиционно эти потребности удовлетворялись с помощью запатентованной, нишевой или специфичной для поставщика услуг технологии, но корпоративный Wi-Fi все чаще выбирался в качестве внутренней платформы IoT из-за ее значительной экономии от масштаба и простоты управления ею. Для удовлетворения этих оперативных потребностей IoT ожидается, что 802.11ax и его возможности IoT, такие как низкая мощность и детерминизм, ускорят это принятие (см. рисунок 2).

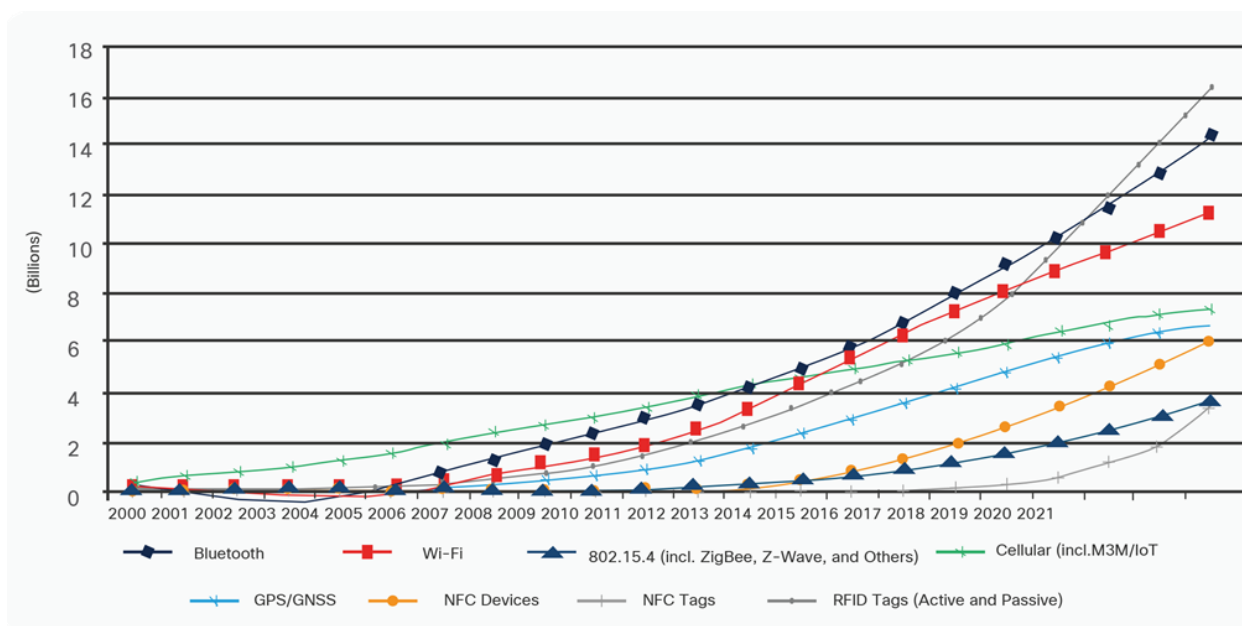


Рисунок 2 – Тенденции интернета вещей

В будущем мы также можем представить себе предприятие, где пользователи практически связаны с коллегами, партнерами и клиентами с помощью технологии дополненной реальности (AR), виртуальной реальности

(VR) или смешанной реальности (MR). Преимущества этой формы сотрудничества обнаруживаются каждый день, когда исследователи, инженеры и ИТ разрабатывают корпоративные решения, такие как телемедицина, удаленная полевая поддержка, визуализаторы розничной торговли, виртуальное обучение и сотрудничество. Очевидно, что для этих приложений требуется значительная пропускная способность (например, 1 Гбит/с+) и низкая задержка (например, меньше 10 мс), и поэтому 802.11ax хорошо позиционируется с его расширенными возможностями множественного ввода(ММО) (8 x 8) и планирования. Трафик дополненной реальности семикратно увеличится 2016-2021: с 3 до 20 Пбайт/месяц. Трафик виртуальной реальности увеличится в 11 раз 2016-2021: с 13 до 140 Пбайт/месяц.

2 Что такое 802.11ax?

802.11ax — это логичное продолжение стандарта 802.11ac.

2.1 Движущая сила для 802.11ax

IEEE 802.11ax-это эволюционное усовершенствование стандарта 802.11ac. Одной из целей 802.11ax, также известной как High efficiency wireless (HE), является обеспечением более высокого уровня эффективности в существующих сетях Wi-Fi:

- установка высоко тарифных данных более последовательно в типичных окружающих средах Wi-Fi;
- сосредоточение на ключевых показателях эффективности (КПЭ), которые улучшают качество опыта (QoE).

В традиционном пространстве предприятия проблемы включают в себя:

- среды сверхвысокой плотности (UHD) с десятками пользователей, каждый из которых несет или носит три или четыре устройства 802.11, которые потребляют сетевые ресурсы одновременно;
- повышенное внедрение приложений реального времени, таких как видео 4K и дополненная или виртуальная реальность (AR/VR), предъявляющих новые требования к уже испытывающим нагрузку сетям.

В соседнем пространстве Интернета вещей конвергенция традиционно специализированных операционных сетей на ИТ-сети ускоряет необходимость поддержки:

- устройства малой сложности и малой мощности, такие как HVAC, метки активности и датчики здравоохранения;
- сверхнадежные коммуникации с низкой задержкой (URLLC), такие как медицинские (визуализация/контроль) и производственные (складская логистика, робототехника), которые требуют жесткого контроля KPI.

2.2 Увеличение пропускной способности в 802.11ax

Пиковая беспроводная скорость является результатом четырех факторов: пропускной способности канала, плотности созвездий, количества пространственных потоков и накладных расходов на символ. IEEE 802.11ax делает акцент на плотность созвездия, добавляя 1024 QAM, но более значительно улучшает накладные расходы на символ с гибкими временными параметрами PНУ.

Во-первых, переход от 256 QAM к 1024 QAM увеличивает пиковые скорости на $10/8 = 1,25$ раза. Будучи ближе друг к другу, точки созвездия более чувствительны к шуму, поэтому 1024 QAM помогает больше всего на меньшем расстоянии. 256 QAM является более надежным, но 1024 QAM не требует больше спектра или больше антенн, чем 256 QAM. Его можно легко реализовать с помощью существующих физических систем.

Во-вторых, переход от фиксированной длительности символа (T_s) 3,2 микросекунды (мкс) и только двух защитных интервалов (GI) 400 или 800 нс к более длинному (12,8 мкс) и трем вариантам защитного интервала (0,8, 1,6 или 3,2 мкс) позволяет как повысить скорость, так и, при необходимости, повысить надежность. Математически отношение $T_s + T_0$ ($GI + T_s$) определяет пиковую эффективность временной области, которая для 11ac составила до $3,2 \text{ мкс} / (3,2 \text{ мкс} + 400 \text{ нс})$ или 88,9 процента, тогда как с 802.11ax мы можем достичь до $12,8 / (12,8 + 0,8) = 94$ -процент эффективности для пикового увеличения объема в 5,9 процента, и все же с гораздо большей многолучевой робастностью. Кроме того, план тонов 802.11ax плотнее с 980 тонами данных (OFDMA-поднесущие) на 13,6 мкс ($T_s + \text{минимальный GI}$) более 80 МГц, в то время как 802.11ac имеет 234 тона данных (OFDM-поднесущие) на 3,6 мкс в тех же 80 МГц. Эта повышенная плотность тона приводит к дополнительному пиковому увеличению пропускной способности на 10 процентов по отношению к 802.11ac в том же спектре (так как $(980/13,6)/(234/3,6) = 1,1$).

Тогда скорость прямо пропорциональна количеству пространственных потоков. Больше пространственных потоков требуют больше антенн, разъемов RF, и цепей RF на передатчике и приемнике. Антенны должны быть расположены на расстоянии $1/3$ длины волны ($3/4$ дюйма при 5.25 ГГц) или более друг от друга, а дополнительные радиочастотные цепи потребляют дополнительную мощность. Требование физического разделения, в частности, приводит к тому, что подавляющее большинство мобильных устройств ограничивает число антенн до одного или двух. Эта тенденция, как ожидается, останется неизменной для предстоящих 802.11 ах-совместимых мобильных устройств. Однако для точек доступа эти ограничения физических ресурсов не так строги, поэтому мы ожидаем, что точки доступа 802.11ах первой волны будут поддерживать до 8 пространственных потоков, что в два раза превышает максимальное число, предоставляемое сегодня в устройствах 802.11ас.

В совокупности эти три увеличения показателей производительности показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет скорости работы устройств 802.11ас и 802.11ах

| Протокол Wi-Fi | Пропускная способность | Бит данных на одну поднесущую | Время на символ OFDM | 1 ПП | 3 ПП | 4ПП | 8ПП |
|----------------|------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------|-------------|-------------|------------|
| 802.11ас | 234 (80МГц) | $5/6 \times \log_2(256) \approx 6.67$ | 4 мкс | 390 Мбит/с | 1,17 Гбит/с | 1,56 Гбит/с | - |
| | 2*234 (160 МГц) | | | 780 Мбит/с | - | 3,12 Гбит/с | - |
| 802.11ах | 980 (80 МГц) | $5/6 \times \log_2(256) \approx 6.67$ | 13,6мкс | 600 Мбит/с | 1,8 Гбит/с | 2,4 Гбит/с | 4,8 Гбит/с |
| | 2*980 (160 МГц) | | | 1,2 Гбит/с | 3,6 Гбит/с | 4,8 Гбит/с | - |

2.3 IEEE 802.11ax и детерминизм

Предоставление гигабитных скоростей передачи данных в пределах одного пространственного потока с использованием 1024 QAM обеспечивает максимальную теоретическую пропускную способность, которая регулярно достигается в средах предприятий с низкой плотностью. Однако когда плотность сети (и результирующая плотность точек доступа) увеличивается, вероятность достижения этих пропускных способностей уменьшается, поскольку конкуренция каналов или использование эфирного времени увеличивается от использования устройств либо в той же Базовой зоне обслуживания (Basic Service Set – BSS), либо от сети и точек доступа в соседнем или перекрывающемся BSS (OBSS). Существует так же ухудшение такое как взаимодействие межканальных помех (CCI), которое особенно проблематично в местах открытого пространства: конференц-залы и общественные точки доступа, где распространение радиочастот близко к идеалу или в поле зрения (Line-Of-Sight – LOS).

Для борьбы с этим хорошо известным явлением 802.11ax вводит OFDMA, который является новым механизмом доступа к каналам, аналогичным, но отличным от сотовых/LTE радиосетей, потому что он поддерживает устойчивость Wi-Fi в нелицензированном спектре. Во-первых, OFDMA обеспечивает передачу без конкуренции для нескольких устройств как в нисходящей линии связи (DL), так и в восходящей линии связи (UL) в рамках соответствующей одиночной возможности передачи информации (TXOP). Во-вторых, добавление многопользовательского расширенного распределенного канала доступа (EDCA) к UL-OFDMA позволяет точке доступа влиять на относительные приоритеты доступа к каналу пользователя, даже между 802.11ax и 802.11ac пользователями. Обе схемы не только более эффективны и менее подвержены потере пакетов и дрожанию из-за разногласий, но поскольку они позволяют точке доступа иметь точный контроль как восходящей, так и нисходящей передачи, они также допускают больший детерминизм.

2.3.1 Три аспекта распределения ресурсов

В 802.11ac несколько пользователей разделены пространством и временем. Во временной области возможности передачи распределяются между устройствами и точками доступа одинаково распределенным образом с использованием EDCA. В пространственной области методы нисходящий канал/многопользовательский Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO) используются для изоляции и одновременного использования возможностей, ограниченных числом передающих антенн (обычно до 4). Оба метода применяются на основе Multiuser Physical layer Protocol Data Unit (MU-PPDU).

В 802.11ax используется то же самое пространственное и временное разделение, что и 802.11ac, но добавляется третье многопользовательское измерение: частотное разделение. С 802.11ac канал Wi-Fi (20, 40, 80 или 160 МГц) был разбит на набор меньших субканалов OFDM для сглаживания помех. В любой заданный момент времени один пользователь выделяет все эти субносители в каждом PPDU. Однако, с OFDMA (802.11ax), отдельные группы поднесущих индивидуально распределяются устройствам как единицы ресурса на основе PPDU (см. рисунок.3).

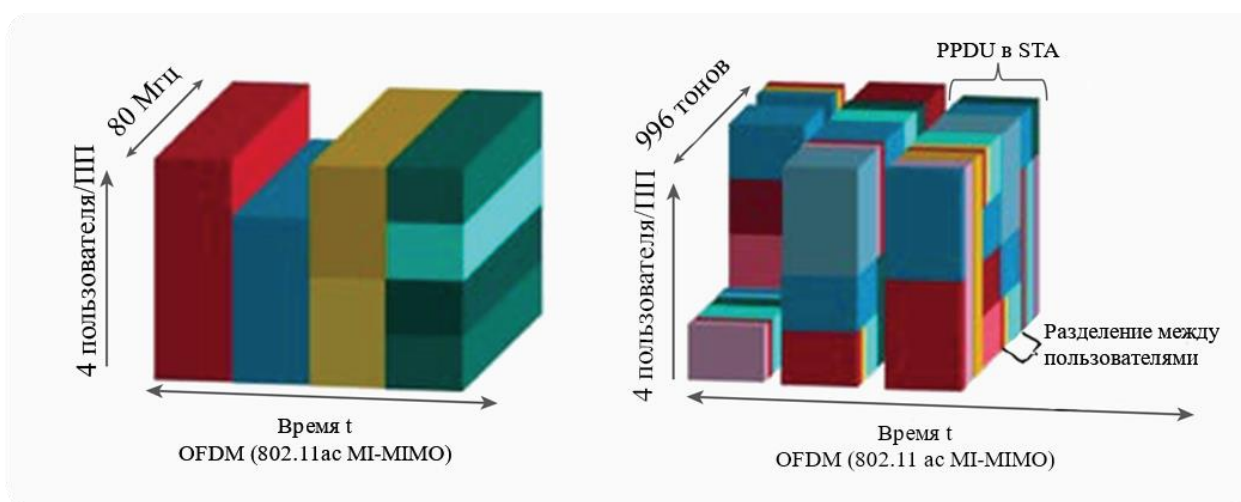


Рисунок 3 – Сравнение OFDM и OFDMA

Это третье измерение (OFDMA) имеет много преимуществ, как обсуждалось ранее, таких как детерминизм и повышение эффективности за счет

уменьшения коллизий и разногласий. Но это также революционизирует способ, которым вы можете обеспечить качество обслуживания (QoS). Ранее, с 802.11ac, если точка доступа хотела доставить определенную пропускную способность к одному устройству, но больше пропускной способности к другому, лучшее, что она могла сделать, это запланировать правильное количество нисходящих PDU во временной области (например, с методами очереди и формирования) и «надеяться», что устройство будет в состоянии выделить достаточное количество времени для получения информации для восходящей-PDU. Эта неэффективность и непредсказуемость затрудняет обеспечение какой-либо гарантии в отношении пропускной способности и других ключевых показателей эффективности, таких как задержка и дрожание.

В OFDMA более детализированная нисходящая единица ресурса времени + частоты, и способ явного распределения единиц ресурса в восходящей линии связи. Эта двунаправленная возможность выделения ресурсов-единиц сродни блоку ресурсов LTE (RB) и позволяет формировать виртуальный ресурс или “срез” в терминологии 5G. Этот срез 802.11ax может иметь различные атрибуты, такие как пропускная способность, задержка и дрожание, позволяя более высокое качество обслуживания (QoS), чем ранее доступный с 802.11ac.

2.3.2 Гибкое планирование маломощных устройств

В предыдущих поколениях 802.11, такие маломощные приборы как мобильные телефоны были приспособлены с незапланированной автоматической поставкой энергосбережения (U-SD) или Wi-Fi MultiMediaPower-Save (WMM-PS). Устройство в этом режиме может иметь буферные передачи точки доступа к нему вместо отправки его немедленно. Вместо этого точка доступа сигнализировала о наличии данных в периодических маяках через сообщение индикации трафика (TIM), которое позволяет клиенту держать свой радиоприемник выключенным (экономя энергию) и пробуждаться только периодически, чтобы получить маяки (как правило, кратные каждые 102,4 мс). Однако это строгое соблюдение маяков

ограничивает потенциальный потенциал энергосбережения для устройств IoT, которые не требуют регулярного доступа к каналу, как мобильный телефон, но всегда должны быть готовы к приему телефонного звонка.

С 802.11ax и новой возможностью планирования OFDMA 802.11ax, можно разработать новый режим энергосбережения под названием Target-WakeupTime (TWT). С помощью TWT больше не существует тесной связи между маяками точек доступа и временем сна устройства. Как правило, станция может запросить расписание, чтобы проснуться в любое время в будущем. Результатом является значительная экономия электроэнергии для устройств с батарейным питанием, особенно в пространстве IoT (см. рисунок.4).

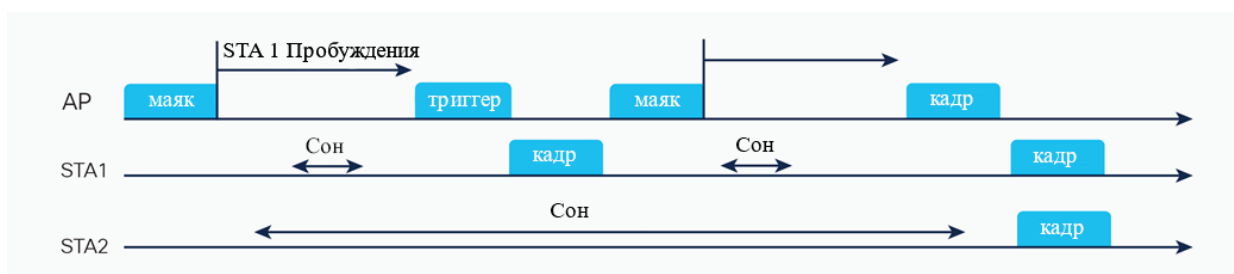


Рисунок 4 – Целевое время пробуждения (TWT)

Похожее, но значительное преимущество TWT что его можно также использовать как метод планирования восходящий канал связи схож с UL-OFDMA. То есть, поскольку TWT эффективно переводит устройства в спящий режим с заданным временем пробуждения (на основе их запроса), возможно детерминированное время передачи и, следовательно, планирование восходящей линии связи. Точка доступа может использовать эту возможность как для уменьшения конкуренции (более распределенное использование канала), так и для решения проблемы задержки приложений.

2.3.3 Повышение пропускной способности при одновременном снижении неопределенности планирования

Хорошо известно, что управление CCI имеет решающее значение в нелицензионном спектре, поскольку оно заметно снижает общую емкость

системы, но также препятствует выполнению функций планирования точек доступа, так как соседние точки доступа (например, из других сетей) обычно не координируются. IEEE 802.11ax предлагает элегантный механизм для управления CCI, основанный на принципе отличия передачи своей собственной ячейки (BSS) от передачи другой ячейки или BSS или OBSS.

В частности, 802.11ax поддерживает динамическое обнаружение пакетов OBSS (OBSS-PD), которое позволяет устройствам/точкам доступа в одном BSS игнорировать кадры из других BSS, которые обычно находятся на некотором расстоянии. Эта настройка достигается путем динамического выбора соответствующих порогов оценки ясности канала (CCA) и минимальных уровней мощности передачи (TXP) для приема от и достижения членом их собственных BSS.

Эта схема проиллюстрирована на рисунок 5.

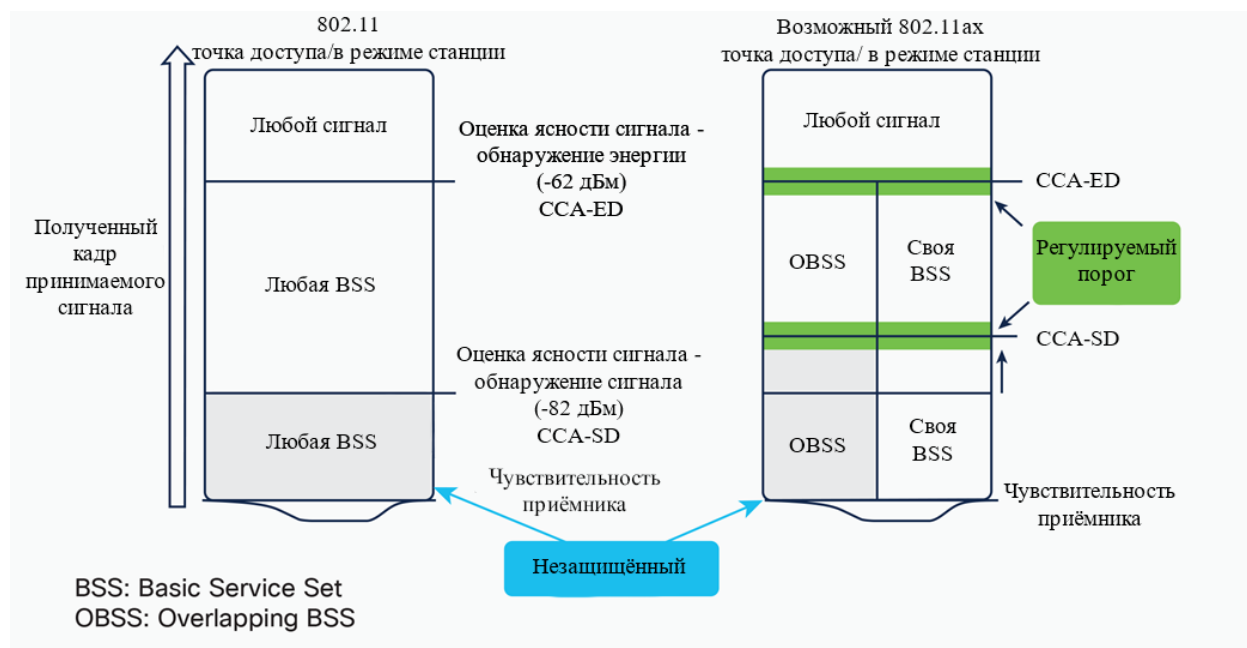


Рисунок 5 – Цветовая операция OBSS и BSS

Преимущества включают в себя увеличение пропускной способности системы, но также более важно значительное уменьшение вариации задержки, потому что обслуживающая точка доступа или устройство гораздо менее

вероятно, что его TXOP задерживается дружественным (или Посторонним) соседом.

2.4 Надежность 802.11ax

Одной из задач стандарта 802.11 является обеспечение сбалансированности потребностей устройств в покрытии с общими потребностями системы в производительности. В стандарте 802.11ac необходимо было поддерживать минимальные скорости передачи данных устройств высокими, чтобы максимизировать использование спектра, потому что только одно устройство могло получить доступ к частотному пространству одновременно. Таким образом, жертвуя охватом для общей производительности. Однако с OFDMA это больше не так, потому что несколько пользователей получают доступ к частотному пространству в то же самое время, и влияние каждого ограничивается меньшей частью канала. IEEE в стандарте 802.11ax смогли расширить покрытие за счет:

- вводя низкоскоростные и маломощные режимы;
- используя гибкое время РНУ.

Очень низкие скорости передачи данных решают проблему декодирования сигналов на больших расстояниях или в шумных средах, поскольку меньшие единицы ресурса (то есть уменьшенное число поднесущих OFDMA) требуют меньшей общей энергии и все еще достигают того же отношения сигнал / шум (SNR). Хотя самый маленький канал в 802.11ac был 20 МГц, самый маленький блок ресурсов в 802.11ax составляет 2 МГц, что приводит к очень значительному снижению мощности шума на 8 дБ и, соответственно, позволяет снизить требуемую мощность сигнала на 8 дБ. Эта ситуация позволяет 802.11ax выдерживать на 8 дБ больше шума и достигать гораздо большей зоны покрытия для устройств с низкой скоростью передачи данных (таких как телеметрические данные IoT).

Гибкая синхронизация физического уровня, включая защитный интервал (GI), решает проблему многолучевого затухания (например, наружного), в результате чего энергия “эха” от одного символа OFDM утекает в следующий символ OFDM, вызывая интерференцию между символами (ISI). Можно сказать, что этот более надежный интервал предохранителя приводит к увеличению пропускной способности в 2 раза в наружных условиях среды, как и те, что в настоящее время обслуживаются технологией сотовой связи/LTE. Эти две возможности в сочетании позволяют операторам Wi-Fi предлагать привлекательные экономичные решения на основе Wi-Fi, конкурентоспособные с 4G LTE и 5G-NR для более низкоскоростного пространства IoT.

Как показано на рисунке 6, когда радиочастотный канал пространственно компактен (например, внутренние небольшие ячейки), распространение задержки (DS) или разница между самым коротким и самым длинным путями невелика (например, 100 метров) и, таким образом, демонстрирует низкий разброс задержки (например, 300 нс).

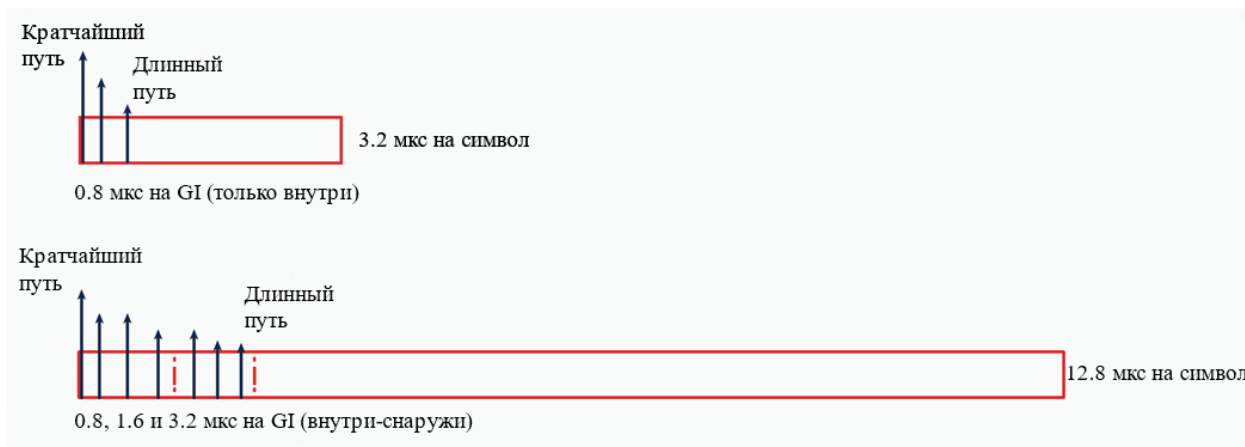


Рисунок 6 – Варианты времени РНУ

Однако, когда радиочастотный канал пространственно велик (например, наружные большие ячейки), то разброс задержки высок; например, один компонент сигнала может быть LOS, но следующий может отскочить от далекого здания, что приводит к разнице в пути приблизительно 1 км и, таким образом, демонстрирует очень высокий разброс задержки (3,2 мкс). Во всех системах

OFDMA, таких как 802.11ах и LTE, защитный интервал OFDMA должен быть больше, чем распространение задержки, чтобы избежать значительных ошибок декодирования, вызванных ISI или временным перекрытием одной версии сигнала на себя. Таким образом, для поддержки наружных (например, городская сеть связи) или частично наружных (например, стадион) каналов защитный интервал в 802.11ах расширяется от исходной спецификации 0.8мкс 802.11ас до 1.6мкс или до 3.2мкс, в зависимости от типа канала.

3 Обзор технологий

3.1 OFDMA и распределение единиц ресурсов

Возможность выделения единицы ресурса, набора смежных субнесущих OFDMA («тонов»), каждому устройству или станции (STA) в одном и том же PPDU уникальна для 802.11ax в семействе 802.11. При самом малом блоке ресурса 26 тонов (2 МГц) и самый большой 2 x 996 тонов (160 МГц), существует большая степень универсальности для балансировки заполнения (среднее) производительности и пиковая пропускная способность. В то же время 802.11ax поддерживает многопользовательский MIMO и может выделять от 1 до 8 пространственных потоков (SS) для каждого STA (см. рисунок 7).

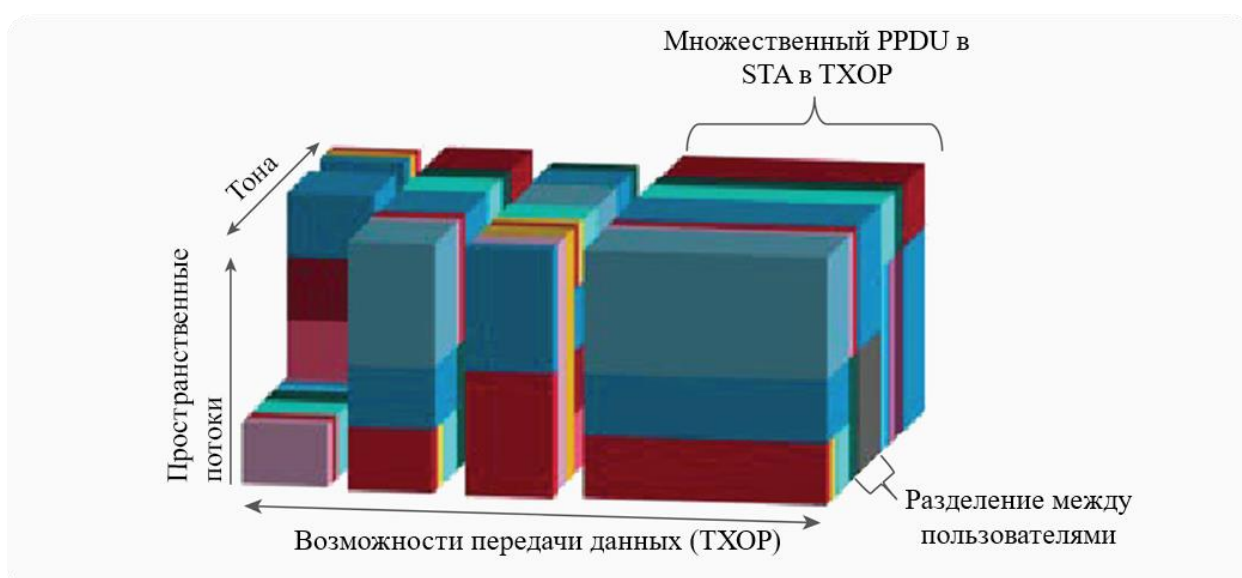


Рисунок 7 – Измерения ресурсов OFDMA

Общий нисходящий канал OFDMA работает следующим образом:

- а) точка доступа решает, сколько STAs и размер каждой единицы ресурса в этом TXOP, и указывает его в поле в преамбуле PPDU;
- б) точка доступа передает данные нисходящей линии связи нескольким STA в их выделенном ресурсном блоке (MU-PPDU);
- в) запрос точки доступа блокирует подтверждение от всех STAs (MU-BAR);
- г) STAs отправляет блочные ACK обратно в точку доступа (M-BA).

Общая операция восходящей OFDMA выглядит следующим образом:

- а) точка доступа решает, какие STAs необходимо запрашивать данные и сколько единиц ресурсов будет выделено каждому из них;
- б) точка доступа запрашивает или опрашивает данные от STA с сигналом отправки (НЕ сигнал отправки);
- в) STAs отвечает с данными (восходящая MU-PPDU);
- г) точка доступа отвечает с ACK (M-BA).

В отличие от 802.11ac, точка доступа 802.11ax управляет распределением ресурсов нисходящей и восходящей линий связи на основе PPDU, что можно рассматривать как форму планирования точек доступа (в частотной и пространственной областях). Хотя 802.11ax формально не определяет планирование на основе времени, аналогичное лицензированному спектру LTE, можно представить себе, что передовые методы организации очередей или QoS используются для достижения аналогичных результатов, как сотовая связь, потому что базовая структура уже существует, и чистая сеть 802.11ax будет иметь отличные возможности управления спектром и помехами.

Для критически важных и чувствительных к задержке приложений, таких как дополненная и виртуальная реальность, а также IoT, возможность планирования точек доступа имеет решающее значение для достижения желаемых характеристик более высокой эффективной пропускной способности и детерминизма. Кроме того, штатное расписание должно поддерживать директивы точки доступа для достижения хорошего показателя. Ожидается, что поставщики будут дифференцировать эту область и, в частности, что взаимодействие между точкой доступа и STA будет играть ключевую роль в достижении наивысшей производительности.

На пропускной способности усиление (в 802.11ac) показано на рисунке 8, где мы видим нисходящую и восходящую линии связи усиления по отношению к одновременным клиентам (STA). Например, только с 4 STAs пропускная

способность нисходящей линии связи 802.11ax (с большими пакетами 1500 байт) только на 10 процентов выше, чем 802.11ac, но пропускная способность восходящей линии связи в 2,2 раза выше, чем 802.11ac (или 120-процентный коэффициент усиления). В целом, чем больше устройств и точек доступа обслуживает каждый ТХОР или канал доступа, тем большей эффективности по сравнению с 802.11ac достигает точка доступа, особенно с небольшими пакетами, такими как голос, видео или ТСП-АСК.

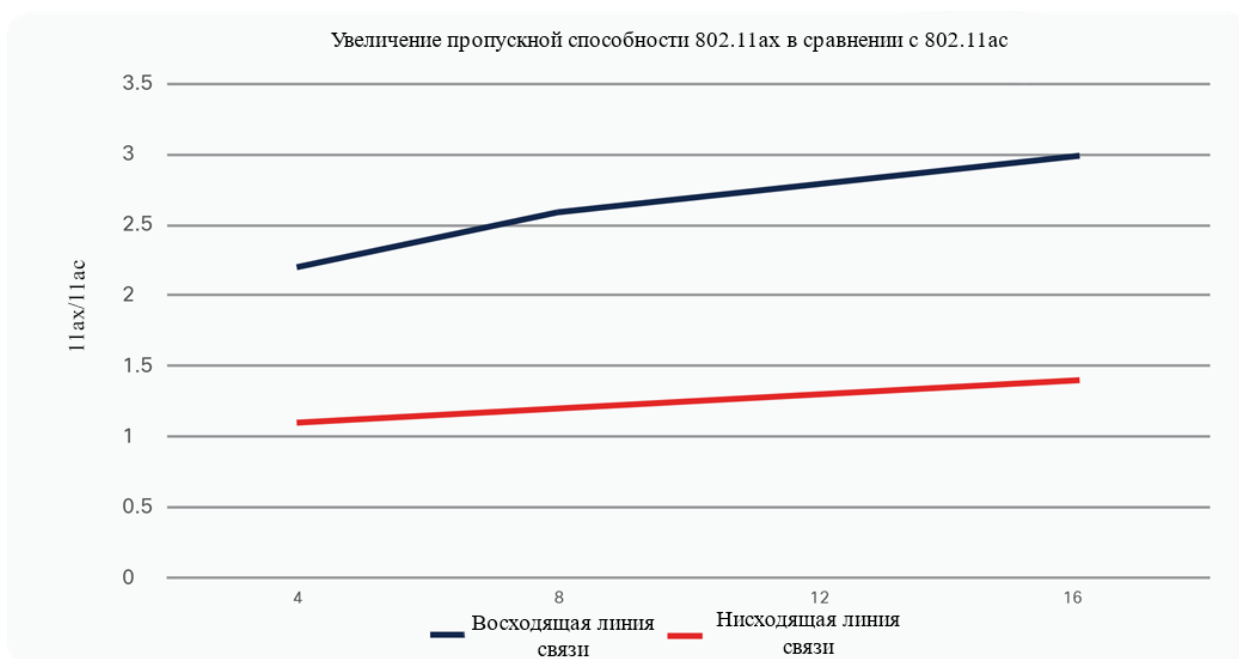


Рисунок 8 – Превосходство нисходящей и восходящей линии связи по отношению к STA

3.2 1024QAM

Введение 1024 QAM в 802.11ax было достигнуто путем сопряжения его с 3/4 и 5/6 скоростями кодирования для создания двух новых схем модуляции и кодирования (MCS) 10 и 11. Грубое увеличение скорости над 802.11ac 256 QAM составляет 10/8 или 25 процентов, что делает 802.11ax первой коммерческой беспроводной технологией, способной развивать гигабитные скорости с помощью одной антенны.

В то время как влияние 1024 QAM на общую пропускную способность ячейки, как ожидается, будет больше для небольших, более плотных ячеек ($<235 \text{ м}^2$), чем для больших ячеек ($>460 \text{ м}^2$), пиковые скорости 4,8 Гбит/с позволят использовать новые возможности, такие как погружение в виртуальную реальность корпоративного уровня с использованием беспроводных гарнитур (HMD).

Стоимость этой высокой скорости составляет 50-процентные более плотные точки созвездия, что приводит к примерно на 6 дБ более высокому требованию SNR. Однако, в отличие от 802.11ac, 802.11ax предназначена для поддержки 8-ми Tx и 8-ми Rx антенн, что обеспечивает большую эффективность формирования луча передачи и максимальные коэффициенты комбинирования (MRC) для компенсации этого дефицита. С точки зрения развертывания Wi-Fi проектировщики должны учитывать эти пиковые скорости с точки зрения требуемой пропускной способности сети.

Как видно на тепловой карте Ekaḥau, показанной на рисунке 9, в типичном офисе предприятия зона покрытия 1024 QAM (MCS 10-11), как и ожидалось, меньше, чем у 256 QAM (MCS 8-9). Тем не менее, ключевые области под точкой доступа хорошо охвачены, и эти пользователи все еще могут достигать многогигабитных скоростей (в зависимости от возможностей устройства).



Рисунок 9 – Ekaheat тепловая карта

3.3 Пространственное повторное использование и OBSS

С любой беспроводной системой, включая сети на основе 802.11 CSMA, совместное использование одного и того же радиочастотного канала в одном и том же физическом пространстве всегда было проблемой. Хотя 802.11 делает это более надежно и вежливо, чем альтернативы, устройства (STA) и точки доступа все еще действуют независимо, чтобы максимизировать их собственное качество пользования (QoE). Например, некоторые устройства могут использовать слишком много энергии, учитывая близость к их связанной точке доступа, создавая ненужные помехи, или они могут использовать слишком мало энергии, учитывая помехи, и не могут достичь своей точки доступа.

Критически важно, что уровень сигнала (RSSI), на котором STA определяет канал, является “свободным для передачи” или то, что мы называем CarrierSense/контроль носителя (CS), исторически был консервативным, основанным на минимальных ожиданиях производительности и на практике дополненным отдельными поставщиками для повышения производительности. Однако в дальнейшем 802.11ax стандартизирует это поведение для обеспечения

оптимального улучшения производительности путем формализации четырех понятий:

- а) перекрывающийся базовый набор услуг (OBS) — это перекрывание или интерференция между BSS (т. е. точкой доступа и связанной с ней STA), с которой связана STA, и соседним BSS, с которым не связана STA;
- б) BSS Color — это метод для различения BSS (то есть точек доступа и их устройств) на одном и том же радиочастотном канале;
- в) обнаружение пакетов OBSS (PD) — это возможность обнаружения сигналов от других BSS (OBSS);
- г) пороговое управление оценкой чистого канала — это способность устройства изменять свою чувствительность CCA на основе соответствующей точки доступа и передачи тока.

Когда мы собираем эти концепции вместе, мы имеем возможность эффективно управлять помехами в управляемых сетях, таких как те, которые развернуты предприятиями и поставщиками услуг. В частности, эта возможность позволяет устройствам и точкам доступа неявно договориться о требуемых порогах обнаружения пакетов или “занятого” сигнала и уровнях мощности передачи (TX).

Деятельность цвета BSS следующим образом:

- а) каждый BSS (точка доступа) использует различный “цвет” (6 битов в преамбуле сигнала или SIG).
- б) каждый STA изучает свой собственный BSS при ассоциации и, таким образом, другие BSS являются OBSS.
- в) сигналы с таким же цветом BSS используют низкий порог RSSI для отсрочки, таким образом уменьшая столкновения в таком же BSS.
- г) сигналы с другим цветом BSS используют более высокий порог RSSI для отсрочки, тем самым позволяя более одновременные передачи.

По сути, эта схема обменивает некоторой степенью равнозначности (то есть каждый STA имеет равные возможности бороться за TXOP) для более высокой пропускной способности точки доступа (то есть STAs в моем BSS имеют приоритет). В управляемых корпоративных сетях высокой плотности (HD) этот метод эффективен, в то время как в неуправляемых средах влияние этой возможности может быть менее эффективным или даже вредным для производительности устройства. В целом, хотя это и не идеальное решение для ВЧ, при ответственном использовании эта возможность действительно проходит долгий путь в улучшении условий в ряде условий, где индивидуальное поведение STA вызывает деградацию всей клетки.

На данном этапе важно рассмотреть вопрос о том, как решение предприятия или поставщика услуг может дополнить эту базовую возможность. Во-первых, нужно понять, что STA реагирует на условия ВЧ, которые он воспринимает, поэтому важно, чтобы инфраструктура Wi-Fi или WLAN имела точное представление о сети, как видно устройству, чтобы обеспечить лучшее QoE. Фактически, чем больше исторических или аналитических данных WLAN может собрать о своих клиентах, тем лучше, учитывая разнообразие клиентов в экосистеме. Во-вторых, поскольку точки доступа сотрудничают в группе для обеспечения непрерывных услуг, очень важно, чтобы функция управления Радиоресурсами (RRM) предоставляла правильные условия (например, на краю ячейки) для STA, чтобы он получил оптимальные пороги CCA как для своих собственных, так и для других BSS. Другими словами, RRM должен быть bss_color и OBSS_PD осведомлен при принятии решений о распределении ВЧ. В любом случае, ожидается, что BSS COLOR и OBSS_PD значительно улучшат QoE и емкость как корпоративных, так и сетей поставщиков услуг, улучшив существующие варианты использования HD и, возможно, создав новые бизнес-модели для операторов Wi-Fi.

3.4 Скорости в частотных диапазонах

В дополнение к предложению более высоких скоростей, 802.11ax также обеспечивает больший диапазон, чем 802.11 a/g/n/ac. В частности, более низкие эффективные скорости передачи данных за счет минимального распределения ресурсов (26-тонный, 2 МГц) могут быть использованы для обеспечения увеличения бюджета канала до 8 дБ по отношению к 802.11ac. Это увеличение показано на рисунке 10.

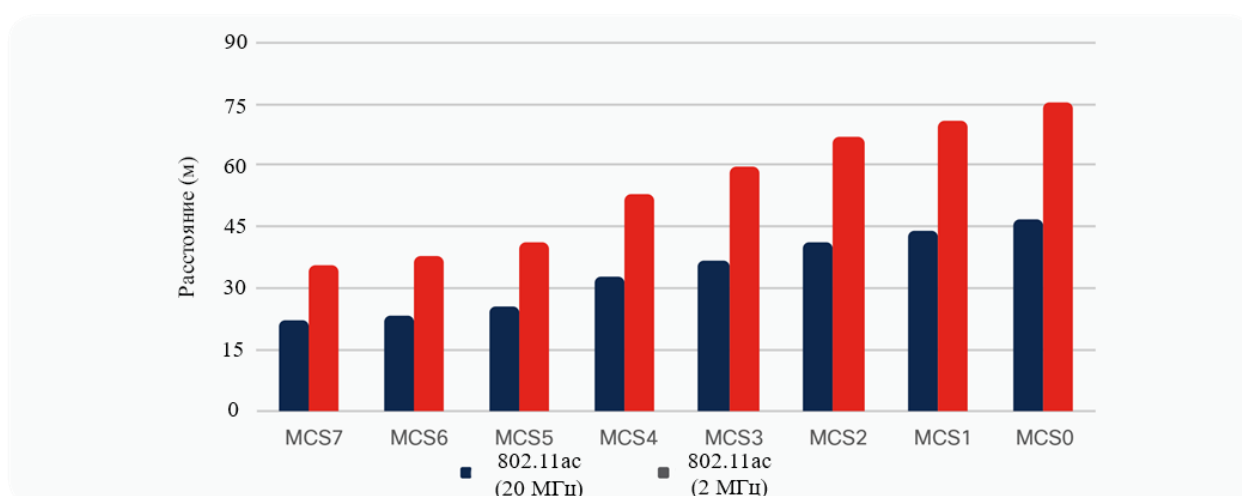


Рисунок 10 – IEEE 802.11ax 2-МГц увеличение расстояния (в помещении 5ГГц NLOS)

4 802.11ax сейчас

На данный момент большинство ведущих компаний имеют продукцию, поддерживающую стандарт 802.11ax. Смартфоны, точки доступа, маршрутизаторы и чипы.

5 Реалии стандарта IEEE 802.11ax

Одним из эффектов, о которых не стоит беспокоиться, является совместимость.

IEEE 802.11ax тщательно разработан, чтобы быть с максимальной прямой и обратной совместимостью с устройствами 802.11a/g/n/ac на самом деле, дизайн совместимости 802.11ax еще проще и тщательнее, чем совместимость 802.11n с устройствами 802.11a.

Устройство 802.11ax должно поддерживать все обязательные режимы 802.11a/g/n и 802.11ac. Точка доступа 802.11ax может взаимодействовать с устройствами 802.11a/g/n и 802.11ac, используя форматы PPDU 802.11a/g/n или 802.11ac. Аналогично, устройство 802.11ax может взаимодействовать с точкой доступа 802.11a/g/n или IEEE 802.11ac, используя 802.11a/g/n или 802.11ac PPDU. Таким образом, появление устройств 802.11ax не вызовет проблем с существующей инфраструктурой.

Преамбула форматного пакета 802.11ax (см. рисунок 11) является расширением установленного форматного пакета 802.11a/g.

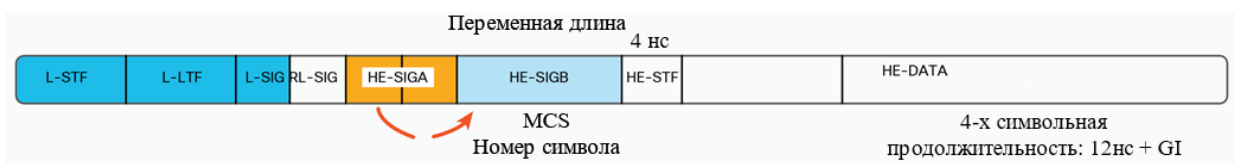


Рисунок 11 – Формат сигнала 802.11ax

Это расширение позволяет существующим механизмам CCA, уже используемым для устройств 802.11a/g/n и 802.11ac, продолжать работать в мире 802.11ax. Как только эти устройства видят преамбулу 802.11ax, они знают продолжительность PPDU и могут выполнить этот запрос. PPDU обычно

сопровождаются АСК или блочным кадром АСК, отправленным в формате 802.11a/g PPDU, поэтому обеспечивается совместимость с существующими устройствами, и все могут соблюдать установленные временные обязательства, прежде чем продолжать бороться и передавать как обычно. В худшем случае устройство слышит 802.11ax PPDU, но находится вне диапазона станции, передающей АСК или блок АСК (скрытый узел). В этом случае станция наблюдения должна по-прежнему ожидать увеличенной продолжительности (называемой EIFS) и предоставить время для передачи ожидаемого АСК или Блока АСК, что уменьшает опасность конфликтов.

Из-за этой совместимости на уровне преамбулы нет необходимости в том, чтобы устройства 802.11ax предшествовали их передаче 802.11ax с помощью CTS-самостоятельно или RTS/CTS, хотя устройства все еще могут решить реализовать и отправить их для защиты более длинных РЗВГ. Однако 802.11ax добавляет возможность многопользовательского RTS / CTS, которая позволяет точке доступа резервировать канал (устанавливать NAV) для нескольких STA одновременно с одним MU-RTS PPDU, который затем подтверждается с одновременным CTS PPDU от нескольких STA. Этот сценарий преодолевает врожденную неэффективность однопользовательских RTS / CTS, все еще распространенных в сетях 802.11ac, добавляя защиту к передачам 802.11ax.

6 Работа в программе Wi-Fi Analyzer

Wi-Fi Analyzer— это программа для мониторинга загруженности частотного пространства Wi-Fi сетями.

Основной целью моего проекта является – анализ текущих Wi-Fi сетей и возможность применения более современных протоколов Wi-Fi. Для сравнения ожидаемых статистических данных представленных выше возьмём доступную Wi-Fi сеть.

На рисунке 12 мы видим все Wi-Fi сети, которые находятся в одном пространстве с исследуемой сетью.

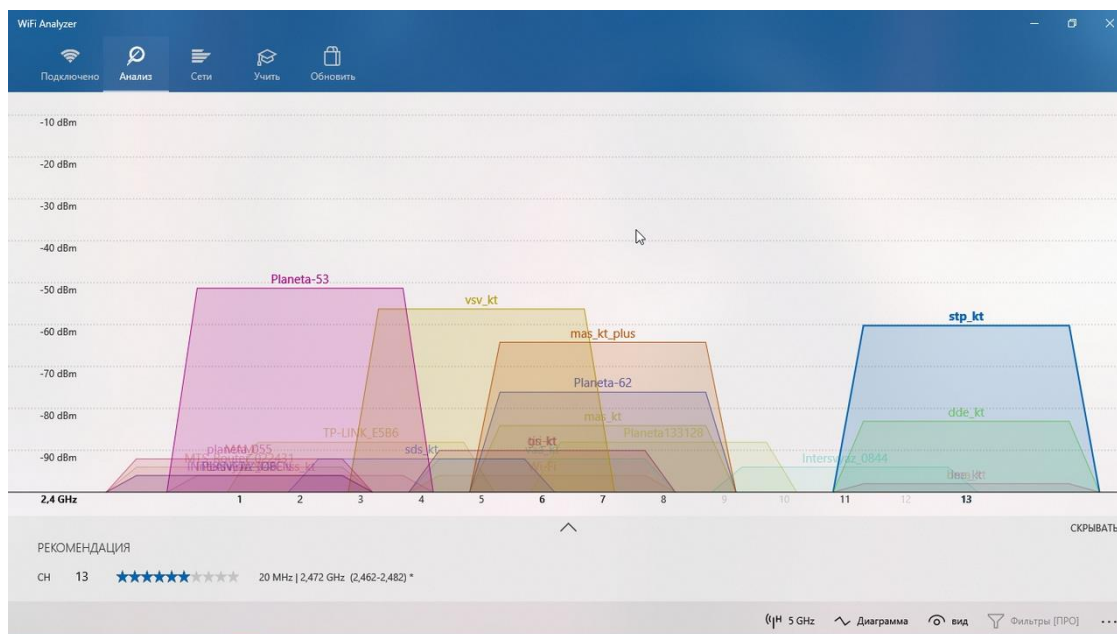


Рисунок 12

Сеть, которая нас интересует, называется «stp_kt» её мы и будем анализировать. Занимаемый ею частотный диапазон находится на 13 канале.

13 канал находится на частоте 2,472 МГц, так же для лучшего соединения сеть покрывает каналы с 11 по 15. Это частоты 2,462...2,482 МГц. Обусловлено это тем, что канал имеет ширину 20 МГц.

Так же на графике видно, что мощность сигнала составляет минус 57 дБм.

Переключив вкладку на «Подключено» мы можем увидеть текущую скорость соединения, которая составляет 150 Мбит/с. Сетевой адаптер производства компании Orion Networks International, Inc, US поддерживает передачу данных на скорости 300 Мбит/с. Так же в данной вкладке можно узнать текущий протокол соединения: Wi-Fi 802.11n. (см. рисунок13)

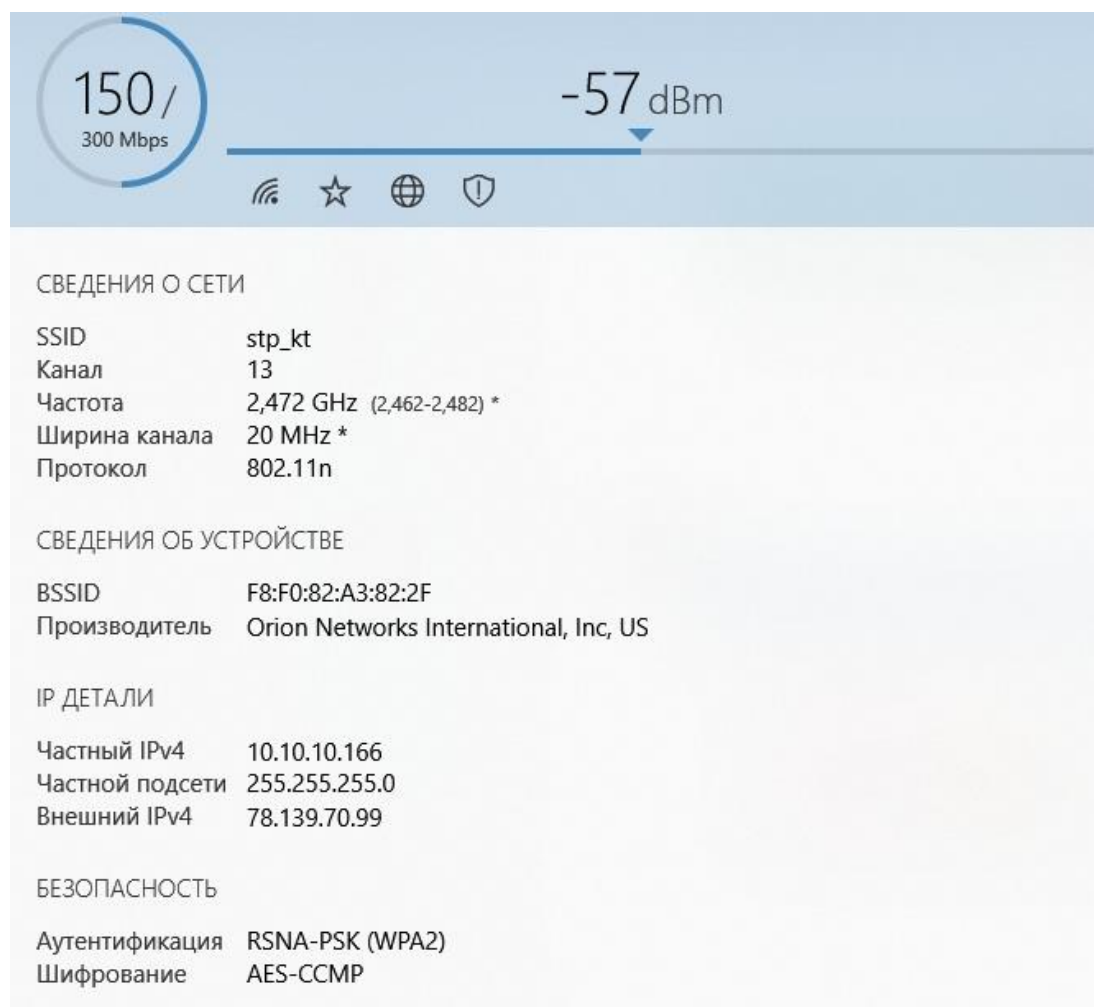





Рисунок 13


Перейдя во вкладку «Сети», мы увидим список всех сетей в радиусе приёма сигнала имеющегося адаптера. Их название, занимаемый ими канал, MAC адрес, протокол шифрования, Wi-Fi протокол и мощность сигнала. (см. рисунок14)

 **stp_kt**
F8:F0:82:A3:82:2F (Orion Networks International, Inc, US)
CH 13 -56 dBm
2,472 GHz 802.11n 0д 5ч 1м
WPA2 (RSNA-PSK, AES-CCMP)

ДОСТУПНЫЕ СЕТИ (14)

 **mas_kt**
C0:4A:00:96:4B:CA (TP-LINK TECHNOLOGIES CO.,LTD., CN)
CH 7 -84 dBm
2,442 GHz 802.11n 17д 17ч 47м
WPA2 (RSNA-PSK, AES-CCMP)

 **Planeta-62**
F8:F0:82:C8:D0:D5 (Orion Networks International, Inc, US)
CH 7 -69 dBm
2,442 GHz 802.11n 54д 18ч 37м
WPA2 (RSNA-PSK, AES-CCMP)

 **gri-kt**
C4:6E:1F:FD:BD:C8 (TP-LINK TECHNOLOGIES CO.,LTD., CN)
CH 6 -88 dBm
2,437 GHz 802.11n 40д 18ч 53м
WPA2 (RSNA-PSK, AES-CCMP)


 **TP-LINK_E5B6**
C4:6E:1F:70:E5:B6 (TP-LINK TECHNOLOGIES CO.,LTD., CN)
CH 3 -84 dBm
2,422 GHz 802.11n 10д 23ч 7м
WPA2 (RSNA-PSK, AES-CCMP)

Рисунок 14

7 Работа в Wireshark

Так же для получения большего количества информации будем использовать программу Wireshark.

Преимущества:

- кросс-платформенный (версии для Linux, Mac, Unix, Windows);
- утилита бесплатна;
- обладает широким функционалом;
- гибкость установки;
- возможность фильтрации трафика;
- создание собственных фильтров;
- перехват пакетов в режиме реального времени.

Возможности:

- захват пакетов в режиме реального времени с проводных или любых других типов сетевых интерфейсов, а также считывание из файла;
- поддерживаются такие интерфейсы захвата: Ethernet, IEEE 802.11, PPP и локальные виртуальные интерфейсы;
- пакеты могут быть просеяны в наборе параметров с помощью фильтров;
- все известные протоколы высоко освещены в списке в различных цветах, например, TCP, HTTP, FTP, DNS, ICMP и так далее;
- поддержка захвата трафика VoIP звонков;
- поддерживается расшифровка HTTPS трафика при наличии сертификата;
- расшифровка WEP, WPA трафика беспроводных сетей при наличии ключа и рукопожатия;
- отображение статистики загрузки сети;
- просмотр содержимого пакетов для всех слоев сети;

отображение времени отправки и приема пакетов.

Интерфейс программы выглядит следующим образом (см. рисунок 15):

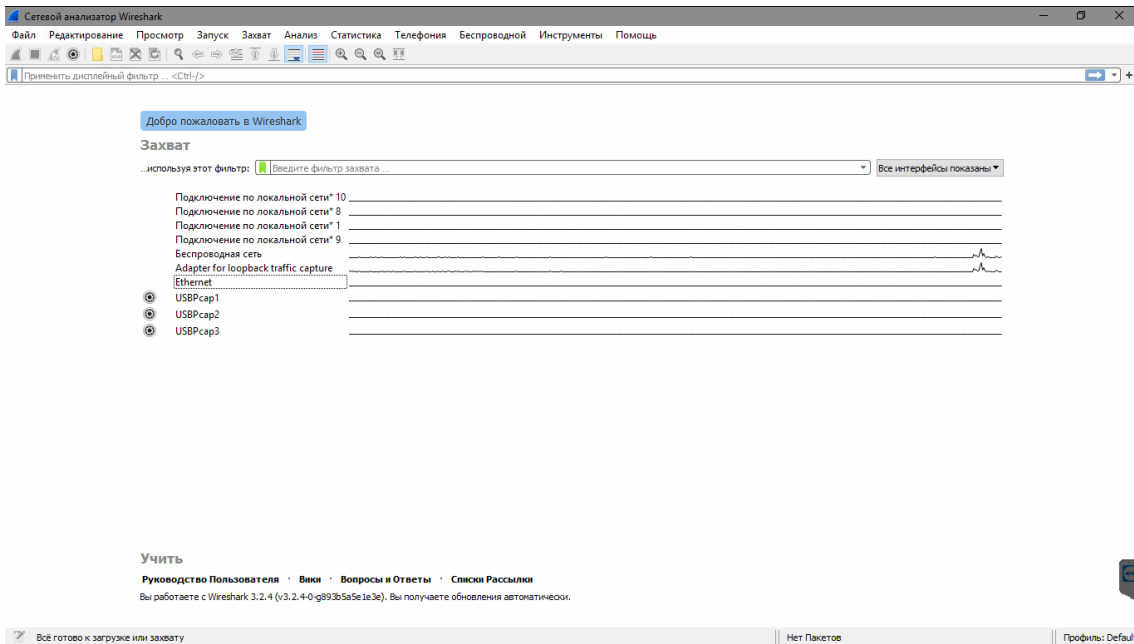


Рисунок 15 – Wireshark

Зайдём в меню «Захват» → «Опции» или нажмите Ctrl+K для дальнейшей настройки параметров программы (см. рисунок 16).

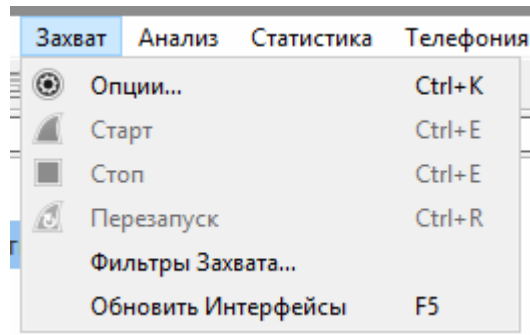


Рисунок 16 – Настройка параметров захвата трафика

На экране появится окно параметров (см. рисунок 17)

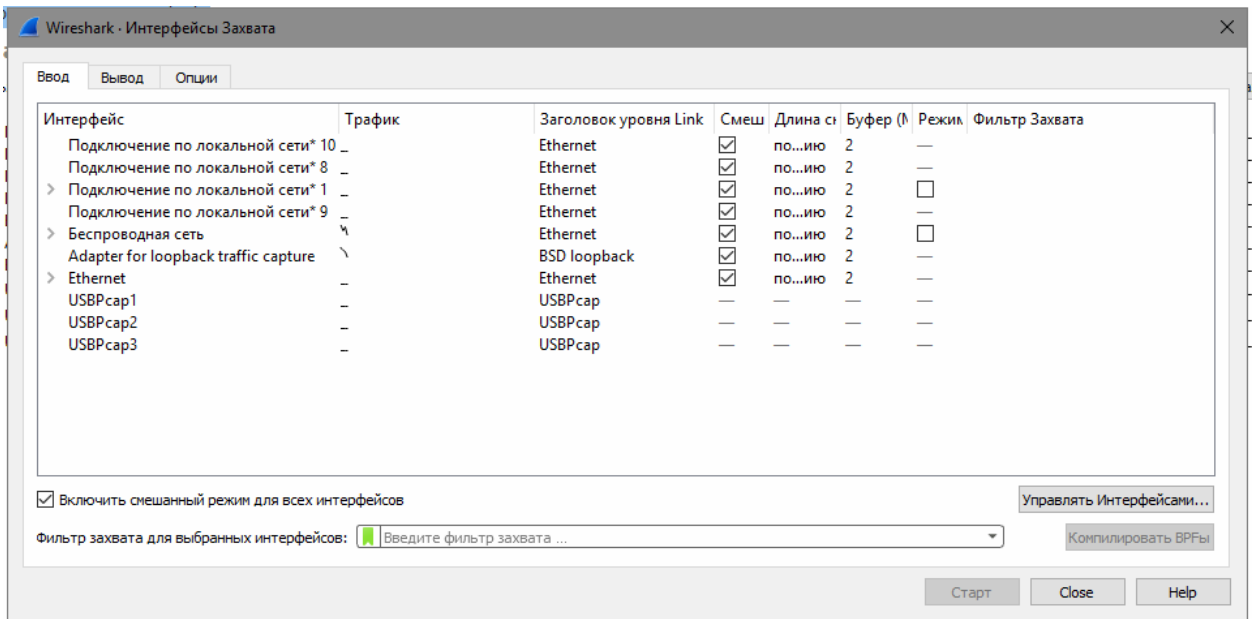


Рисунок 17 – Окно параметров

В поле интерфейс выбираем пункт «Беспроводная сеть», так как захват будет производиться через Wi-Fi адаптер.

Далее мы видим все заблокированные пакеты, которые присутствуют в локальном Wi-Fi адаптера (см. рисунок 18)

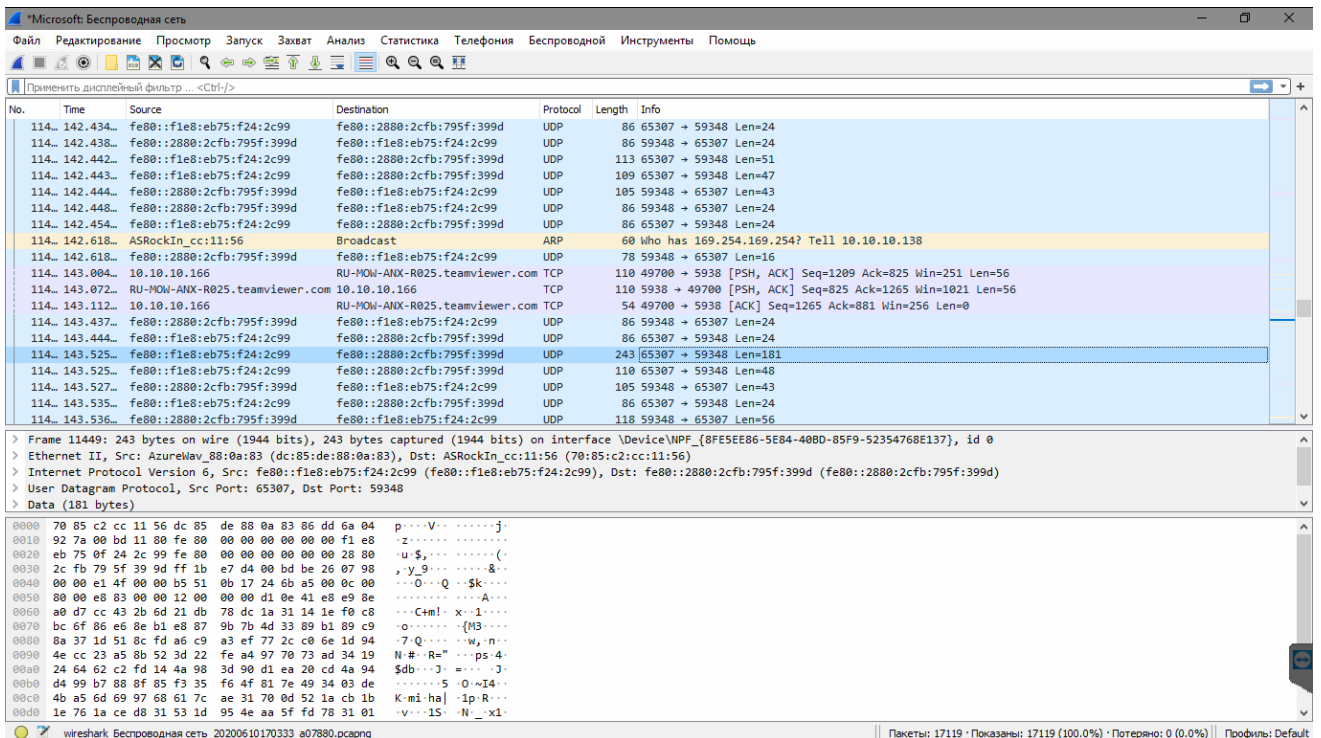


Рисунок 18 – Просмотр пакетов сети.

Делаем захват сетевых пакетов так, чтобы можно было видеть информацию трафике в случае возникновения проблем.

Для завершения захвата пакетов нажимаем кнопку панели инструментов программы Wireshark.

Заходим в меню «Файл» → «Сохранить Как...» для сохранения собранных данных в файл (см. рисунок 19).

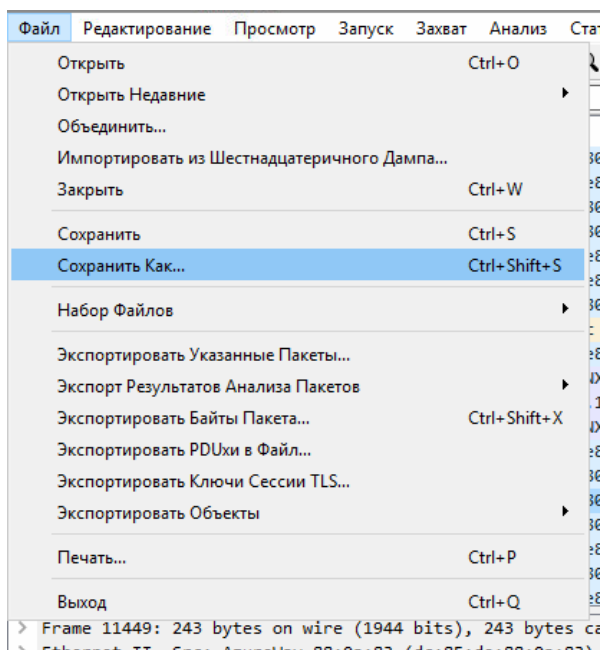


Рисунок 19 – Сохранение данных

Теперь посмотрим на трафик при дополнительной нагрузке. Для этого нагрузим сеть дополнительными задачами. В данном случае мы поставим на загрузку какой-либо файл. Как видно на рис. 20 количество получаемых пакетов увеличилось. Они помечены бледно желтым цветом.

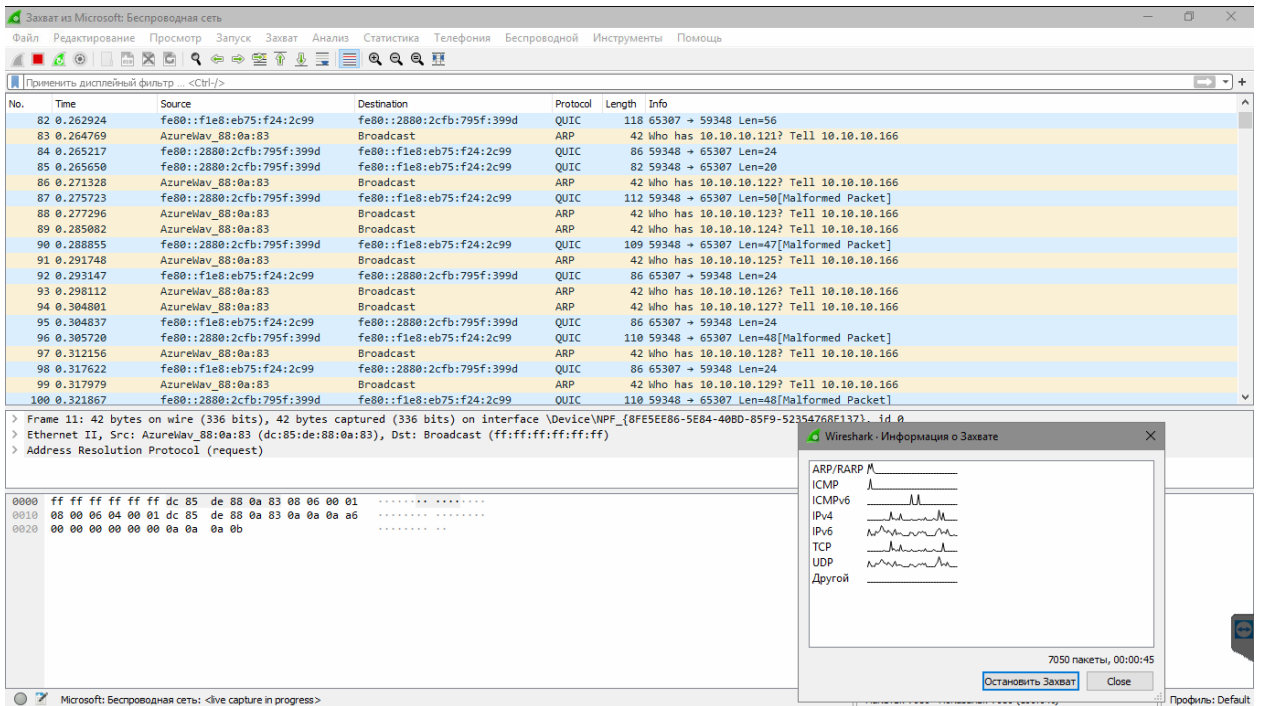


Рисунок 20 – Сеть с нагрузкой

После загрузки файла объём передаваемой информации уменьшился и нагрузка сети стабилизировалась (см. рисунок 21).

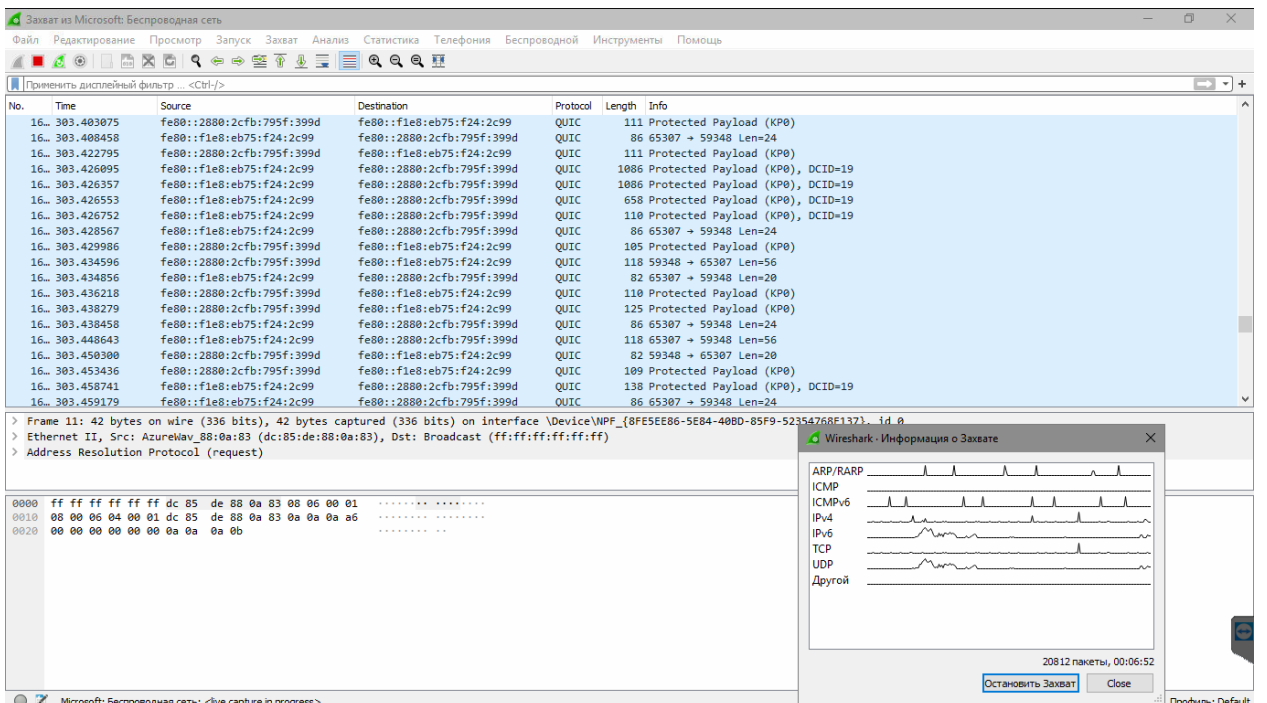


Рисунок 21 – Сеть без нагрузки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С каждым днем интернет все больше и больше влияет на нашу жизнь, мы используем его для любой мелочи, начиная от чтения новостей и заканчивая программированием на работе. Именно поэтому целью моего исследования является исследование актуальных протоколов Wi-Fi пятого и шестого поколения. Возможность применения их в домашнем и рабочих пространствах. По результатам исследования определили прирост производительности и удобство использования Wi-Fi 6 поколения, которые достигаются благодаря увеличению мощностей, более плотного квантования 1024 QAM и технологиям OFDMA и MU-MIMO.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Преддипломная практика и выпускная квалификационная работа для студентов специальности «Радиоэлектронные системы и комплексы»: методические указания / сост.: Д.С. Пискорский, Н.В. Вдовина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. – 76 с.
2. <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/white-paper-c11-740788.html>
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ax
4. <https://www.youtube.com/channel/UCuhom3rBK4pX6VL656-K07A>