«Эффективный» Wi-Fi 802.11ax (часть 1): изменения на уровне MAC

Введение

Если опустить некоторые технические нюансы, то при грубом приближении можно сказать, что первый стандарт 802.11b Wi-Fi имел максимальную скорость передачи данных в 11 Мбит/с. Затем через несколько лет вышли 802.11 a / g (2003 год) и скорость передачи данных была увеличена до 54 Мбит/сек. Такой скачек удалось совершить благодаря внедрению технологии OFDM – мультиплексированию с ортогональным частотным разделением. Позже появился 802.11n с революционными технологиями MIMO и агрегацией каналов, в результате чего удалось добиться скоростей до 600 Мбит/сек. А в последние несколько лет с выходом 802.11ac скорости передачи данных приблизились к 7 гигабитам, однако, как и в далеком 99-м году реальные скорости передачи данных были в разы (если не на порядки) меньше.

Даже разработчики стандарта уже не отрицают факт того, что заявленные "на коробке" скорости доступны лишь в идеальных лабораторных условиях. В действительности же, пользователи испытывают разочарование при попытке проверить свою почту, подключившись к общедоступному Wi-Fi в оживленном месте.

Новая версия стандарта Wi-Fi-802.11ax, которую уже окрестили "Эффективной" (High Efficiency Wireless) предназначена для решения проблем со скоростью доступа в высоконагруженных сетях. Задачей HEW Wi-Fi (802.11ax) будет повышение средней пропускной способности в беспроводной сети на одного пользователя. Подобная попытка была сделана ранее в стандарте 802.11ac, когда были предложены различные способы увеличения согласованной работы большого количества устройств, но многие из них, оказывается, работают недостаточно эффективно.

Основные характеристики 802.11ax HEW

При сравнении с предыдущим стандартом 802.11ac, можно отметить, что с появлением 11ax будет осуществлен возврат в диапазон 2.4 ГГц. Ранее из этого диапазона ушли (в 802.11ac он не поддерживался), но, в конечном итоге, поняли, что 5-гигагерцовый диапазон имеет свои недостатки, и в частности, малый радиус действия. Даст ли возврат в диапазон 2.4 ГГц какие-то преимущества, момент спорный: в этом диапазоне хоть и больший радиус действия, но старых устройств b/g/n тоже значительно больше, а значит, придется работать в режиме совместимости с ними. Также, в новом стандарте в 4 раза вырос уровень применяемой модуляции с QAM-256 до QAM-1024. Более подробный список изменений приведен в таблице ниже:

	802.11ac	**802.11ax**
Диапазон, ГГц	5	**2.4** / 5
Ширина канала, МГц	20,40, 80, 80 + 80, 160	20,40, 80, 80 + 80, 160
Размер FFT в OFDM	62, 128, 256, 512	256, 512, **1024, 2048**
Уровень модуляции	256-QAM	**1024-QAM**
Скорости передачи данных Мбит/сек	433 (ширина канала 80 МГц) 6933 (ширина канала 160 МГц)	**600.4** (ширина канала 80 МГц) **9607.8** (ширина канала 160 МГц)

- Как и в ранее выпущенных стандартах, 802.11ax будет иметь обратную совместимость с линейкой ранее выпущенного оборудования Wi-Fi-стандартов: 802.11a / b / g / n /ac;
- Планируется четырехкратное увеличение средней пропускной способности сети для каждого отдельного пользователя в сильно загруженных хот-спотах (вокзалах, аэропортах, стадионах и др.);
- Скорости передачи данных и ширину канала планируется оставить такой же, как и в 802.11ac, за исключением того, что будут добавлены новые методы кодирования: MCS 10 и MCS 11, поддерживающие модуляцию 1024-QAM;
- Передача данных Uplink и Downlink будет производиться с использованием технологии MU-MIMO и OFDMA;
- В 4 раза будут увеличены размеры OFDM FFT. Это значит, что поднесущие станут ближе друг к другу (расстояние между ними уменьшится в 4 раза), кроме того, будет увеличена длительность каждого символа (тоже в 4 раза). Это позволит повысить надежность при передаче данных и производительность беспроводных устройств в условиях многолучевого замирания;
- Изменится алгоритм доступа к каналу передачи данных.

На Wi-Fi по прежнему возлагают большие надежды, а конкретно к offloading (возможности производить разгрузку сотового трафика с помощью Wi-Fi), ведь по прогнозируемым данным, к 2020 году через Wi-Fi-сети операторов связи будет прокачиваться 38.1 эксабайт данных каждый месяц. Еще в прошлом году прогнозируемая цифра не превышала 30 эксабайт. В пересчете на фильмы в формате Blue-ray, это более 6 тысяч фильмов в минуту.

Проблемы в Wi-Fi сетях с высокой нагрузкой

Пожалуй, самая главная проблема Wi-Fi устройств заключается в том, что они являются Хабами. Да, эти Хабы напичканы новыми возможностями по последнему слову техники, но это Хаб, который, как и в далеких 90-х годах, "умирает" от увеличения количества абонентских устройств.

Вообще, основные проблемы Wi-Fi-устройств (как в общем и любых других устройств связи) могут быть рассмотрены на двух уровнях модели OSI: на физическом уровне и на уровне MAC. Грубо говоря, физический уровень включает в себя радиотехнологии, методы модуляции и пр., а уровень MAC – это уровень доступа к среде передачи, т.е. включает в себя логику работы устройств в сети (и соответственно проблемы, возникающие в результате этого). В этой статье мы рассмотрим изменения, которые появятся на MAC-уровне, а во второй части статьи будет произведен анализ физического уровня.

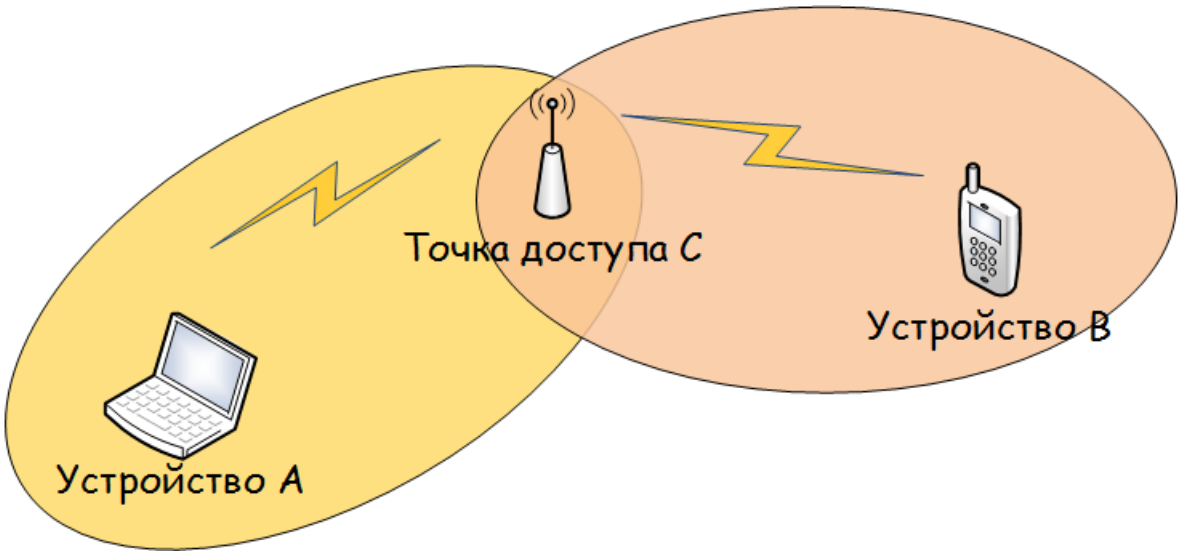
Вообще, можно выделить 3 основные проблемы, которые не позволяют Wi-Fi работать быстро с большим количеством абонентов:

1. Особенности работы протокола доступа к среде передачи CSMA / CD – MAC-уровень модели OSI;
2. Перекрывающиеся области обслуживания различных Wi-Fi-устройств – Физический уровень модели OSI;
3. Совместное использование каналов шириной до 160 МГц – Физический уровень модели OSI.

Работа протокола CSMA / CA

Протокол 802.11 использует метод множественного доступа к среде с контролем несущих и предотвращением коллизии CSMA, в котором беспроводные станции сначала прослушивают канал связи и стараются передавать данные только тогда, когда канал не активен. Тем самым, они пытаются избежать коллизий при передаче пакетов. Когда станция Wi-Fi обнаруживает в канале активность другого оборудования, она ожидает определенное количество времени, прежде чем снова прослушать канал и попытаться передать пакет. В те промежутки времени, когда канал оказывается свободен, устройство Wi-Fi пытается передать свои данные. Понятно, что чем больше устройств работает в одной сети, тем дольше приходится ждать для передачи пакета.

Также, в Wi-Fi сетях может возникать проблема "скрытого терминала". В беспроводных сетях возможна ситуация, когда два устройства A и B удалены друг от друга достаточно далеко, чтобы не слышать друг друга, однако оба попадают в зону охвата третьего устройства C. Если оба устройства A и B начнут передачу данных к C, то они принципиально не смогут обнаружить конфликтную ситуацию и определить, почему пакеты не доходят:



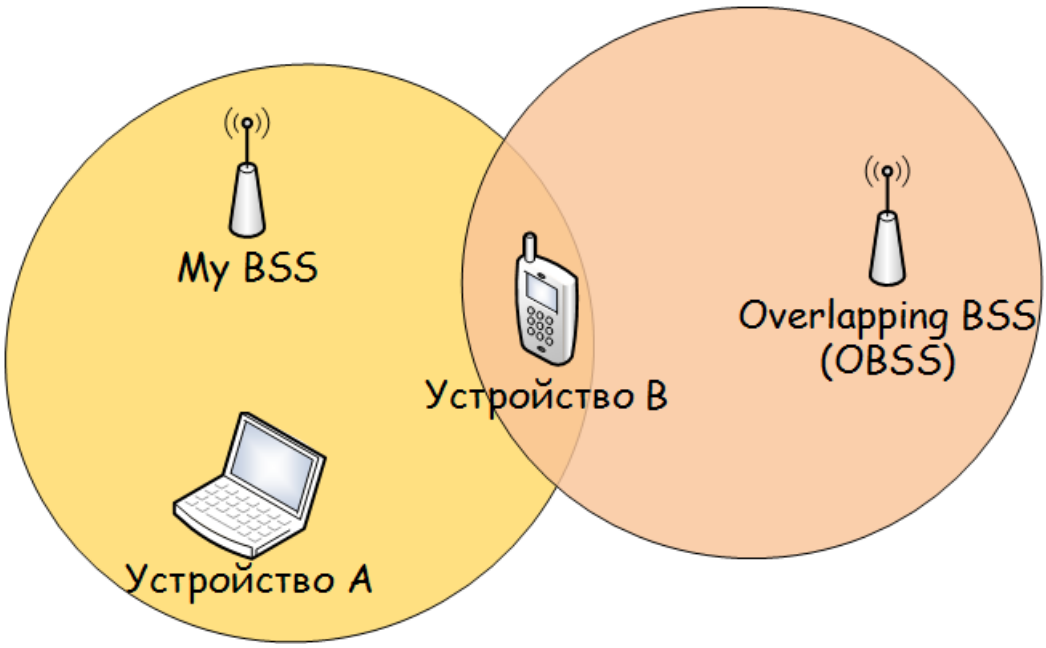
Для решения проблемы скрытого терминала, станция, которая хочет захватить среду, вместо кадра данных сначала должно послать станции назначения короткий служебный кадр *RTS* (Request To Send - запрос на передачу). На этот запрос станция назначения должна ответить служебным кадром *CTS* (Clear To Send - свободна для передачи), после чего станция-отправитель может отправить кадр данных. Кадр *CTS* должен оповестить о захвате среды те станции, которые находятся вне зоны действия сигнала станции-отправителя, но в зоне досягаемости станции-получателя, то есть являются скрытыми терминалами для станции-отправителя.

Затем, станция ожидает пакет подтверждения ACK о получении данных от точки доступа. Получение ACK является своего рода подтверждением того, что пакет был корректно передан. Если станция не получает ACK в течение определенного интервала времени, то пакет считается потерянным в результате коллизии. После этого станция увеличивает период отсрочки и повторно пробует передать свой пакет. Подробнее работу RTS и CTS можно почитать здесь.

Хотя протокол CSMA хорошо подходит для равноправного разделения канала среди всех участников в общей зоне радиопокрытия, ясно, что с увеличением количества устройств в сети, его эффективность довольно быстро уменьшается. С увеличением количества устройств в сети происходит также и увеличение служебных кадров, а время ожидания для получения доступа нелинейно увеличивается.

Перекрывающиеся области обслуживания

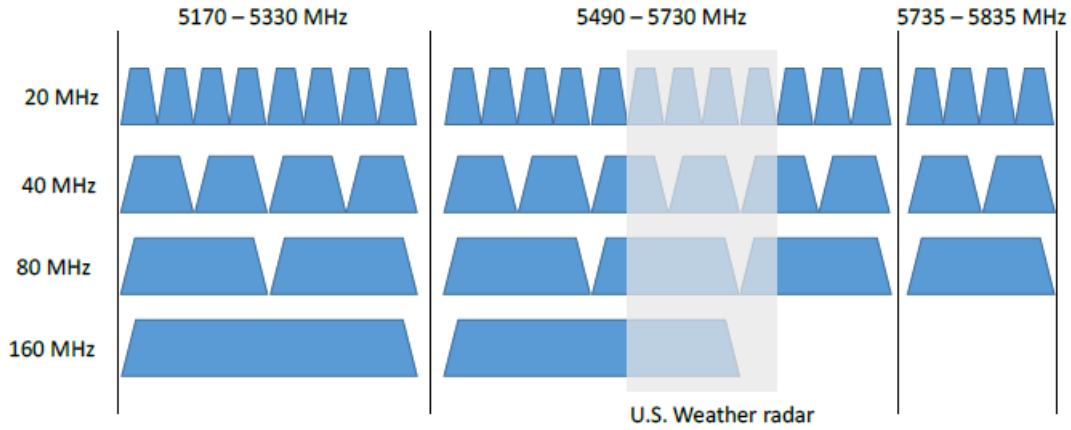
Другим фактором, который приводит к коллизиям в беспроводной Wi-Fi-сети, является наличие множества точек доступа с перекрывающимися областями обслуживания. На рисунке ниже изображено "Устройство A", которое работает в сети My BSS. "Устройство B" также работает в сети My BSS и будет пытаться получить доступ к среде передачи наравне с "Пользователем A" в своей зоне обслуживания. Однако этот B-пользователь может частично находиться в зоне обслуживания другой точки доступа и слышать трафик от Overlapping BSS справа:



В этом случае трафик с OBSS будет вынуждать "Устройство B" вызывать процедуру отсрочки, описанную в предыдущем пункте. Из-за того, что абонентские устройства слышат трафик из других сетей, это приводит к тому, что устройствам приходится дольше ждать своей очереди для передачи, что также снижает среднюю пропускную способность в сети.

Совместное использование каналов

Третий фактор, который следует учитывать, - это совместное использование широких каналов. Как известно, в 802.11ac имеется возможность работать с каналами шириной до 160 МГц:



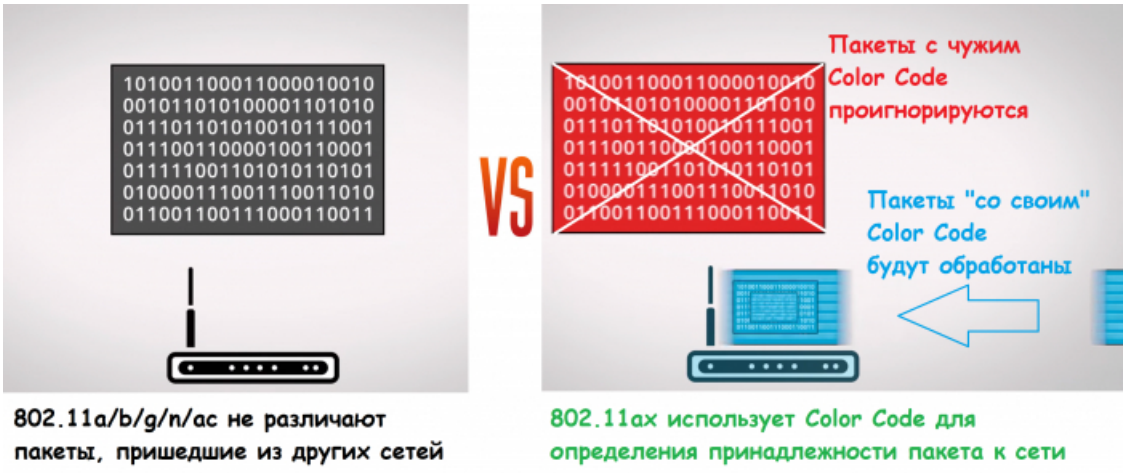
Но каналов шириной по 160 МГц в нелицензируемом диапазоне 5 ГГц можно организовать лишь 1 или (в некоторых странах) 2. Это приводит к тому, что устройства в сети должны работать на одном канале, создавая тем самым друг другу помехи. Широкие каналы позволяют многократно увеличивать скорости передачи данных, но уже с выходом 802.11ac было ясно, что для больших сетей лучше использовать как можно более узкие каналы, чтобы клиентские устройства как можно меньше мешали друг другу.

Работая на одном канале (пусть даже и очень широком – 160 МГц!), пользователи будут испытывать взаимные помехи, что ухудшает производительность и лишает преимущества от использования Carrier Aggregation в принципе. Это особенно актуально для высоких скоростей передачи данных MCS 8, 9, 10 и 11, которые намного более требовательны к отношению сигнал / шум. Кроме того, при текущей реализации сетей 802.11, довольно много устройств работает на каналах с шириной 20 МГц, что делает каналы в 40, 80 и 160 МГц бесполезным, ведь использующее их оборудование при обнаружении устройств, работающих на узких каналах, должно будет "упасть" в режим совместимости с ними.

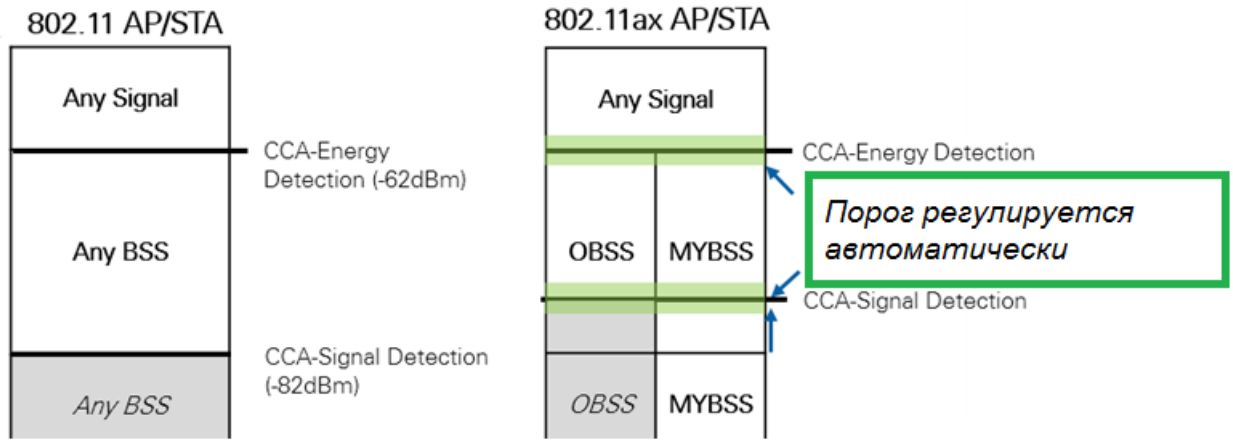
Повышение эффективности за счет изменения логики работы на уровне MAC

Как было отмечено ранее, в первой части статьи мы рассмотрим, какие нововведения нас ждут на уровне MAC с выходом 802.11ax. Для повышения производительности устройств и эффективного использования спектра, на уровне MAC в стандарте 802.11ax беспроводные устройства научат идентифицировать сигналы от перекрывающихся BSS, и на основе этой информации предотвращать конфликтные ситуации. Для того чтобы отличать пакеты от разных BSS в стандарте ввели новое понятие – "Color Code". Переводить его дословно особого смысла нет, но для простоты понимания достаточно отметить, что это определенный код, по которому можно будет идентифицировать пакеты разных BSS.

Когда станция, которая активно прослушивает спектр, обнаруживает в нем кадр 802.11ax, она проверяет его Color Code BSS или MAC-адрес в заголовке пакета. Если Color Code BSS в обнаруженном пакете имеет тот же тип, что и в "родной" сети, тогда станция будет обрабатывать этот кадр. Однако если обнаруженный кадр имеет другой Color Code, тогда она его проигнорирует:



Кроме этого, стандарт будет определять еще некоторые механизмы фильтрации трафика от перекрывающихся BSS. Например, будет реализовано автоматическое повышение порога обнаружения сигнала для кадров от смежных BSS, при сохранении более низкого порога для трафика внутри BSS. Таким образом, трафик от соседних OBSS не будет создавать ненужные конфликты доступа к каналу:



То есть, станции 802.11ax помимо использования Color Code также смогут самостоятельно регулировать порог обнаружения сигнала OBSS вместе с управлением мощностью передачи. Предполагается, что это улучшит производительность устройств на уровне MAC и обеспечит более оптимальное использование канала.

В дополнение к вышесказанному, в стандарте 802.11 используется алгоритм логического определения доступности среды передачи (Network Allocation Vector, NAV), который работает следующим образом.

Если при прослушивании эфира узел принимает какой-либо пакет, то, исходя из информации, содержащейся в его заголовке (длины пакета), он определяет, сколько времени будет еще длиться данная передача, и устанавливает таймер. Следующее прослушивание среды будет производиться только по истечении интервала времени, отсчитанного этим таймером. Таким образом, NAV

обеспечивает среднее резервирование для кадров, критически важных для работы протокола 802.11, таких как управляющие кадры, данные и ACK после обмена RTS / CTS. Целевая группа 802.11, работающая над Wi-Fi HEW, включит в новый стандарт два разных NAV: один NAV будет работать внутри BSS, а второй между перекрывающимися станциями - OBSS NAV. Это поможет станциям прогнозировать трафик в пределах своей собственной BSS и знать состояние трафика из перекрывающейся сети.

Заключение

С выходом 802.11ax, Wi-Fi устройства по-прежнему останутся Хабами, у которых попытались "подкрутить" логику работы и тем самым увеличить среднюю скорость в сети. По факту, увеличение скорости будет произведено за счет уменьшения конфликтных ситуаций, возникающих при работе устройства в перекрывающихся сетях. Устройства научили различать трафик из перекрывающихся сетей, дали им возможность автоматически регулировать чувствительность канала и добавили NAV, который будет передаваться между перекрывающимися станциями. Также в Wi-Fi HEW помимо изменений в логике работы на уровне MAC, также планируется доработать физический уровень, и все значимые изменения на этом уровне мы более подробно рассмотрим во второй части нашей статьи.

От редакции

Мы попросили дать комментарий к статье технического эксперта компании "НАГ" Михаила Ваняшкина. И вот, что он сказал:

> "Стандарт 802.11ax, действительно, несет в себе много изменений, но существенных перемен в короткие сроки ждать не стоит.
> 1. Практическая реализация "в железе" обычно далека от максимальных возможностей, заложенных в стандарт.
> 2. Большое количество клиентских устройств, выпущенных в стандартах 802.11ac/n, еще долго будут мешать получить результат от нововведений 802.11ax."