«Эффективный» Wi-Fi 802.11ax (часть 2): изменения на физическом уровне

Введение

Еще раз приведем таблицу из первой части статьи, в которой отражены наиболее важные изменения в новой редакции стандарта по сравнению с действующим 802.11ac.

	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)

Обратите внимание, что 802.11ax будет работать в полосах частот 2.4 и 5 ГГц (ранее в 802.11ac от диапазона 2.4 ГГц пытались отказаться). Также, в новой спецификации будет в четыре раза увеличено количество поднесущих FFT OFDM. Но наиболее важным изменением является то, что с выходом 802.11ax интервал между поднесущими будет также сокращен в четыре раза, и при этом существующие полосы пропускания каналов остались без изменений:

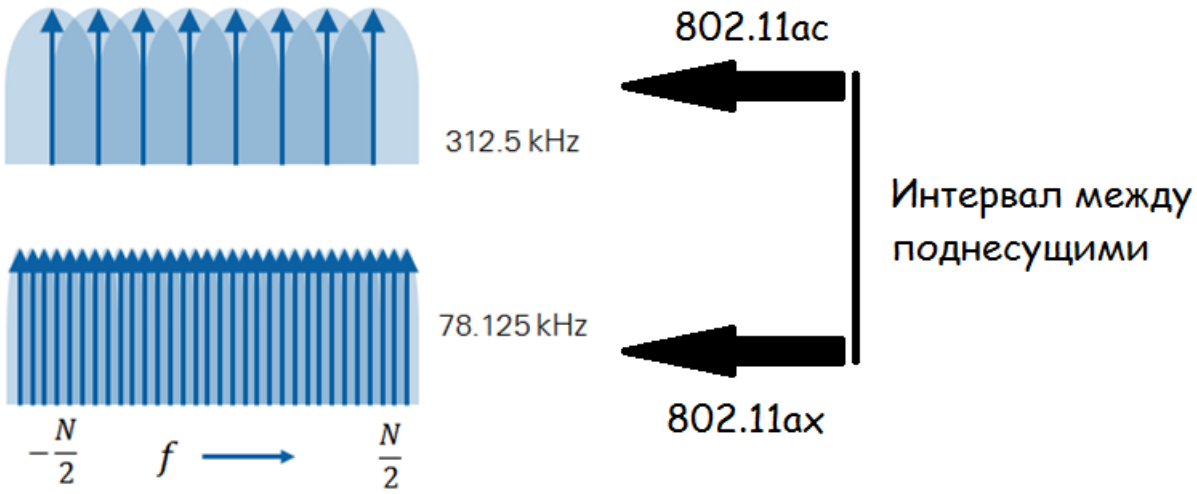

Рисунок 1 – Интервалы между поднесущими в 802.11ax

Таким образом, на рисунке выше мы видим более узкие интервалы между поднесущими. Плюсом к изменениям в OFDM, также добавляется 1024-QAM модуляция, что позволит увеличить максимальную (теоретическую максимально возможную) скорость передачи данных почти до 10 Гбит/сек.

Перейдем к рассмотрению технологий 802.11ax на физическом уровне

В 802.11ax будет доработан механизм beamforming’а (автоматического формирования диаграммы направленности в сторону абонента), по сравнению с более ранней версией 802.11ac. В соответствии с этим механизмом, формирователь диаграммы направленности инициирует процедуру зондирования канала с помощью Null Data Packet. При этом он измеряет уровень активности в канале и использует эту информацию для вычисления матрицы каналов. Затем матрица каналов используется для фокусировки радиочастотной энергии в сторону каждого отдельного пользователя. Совместно с beamforming, стандарт 802.11ax будет поддерживать две новые для Wi-Fi многопользовательские технологии: Multi-User MIMO и Multi-User OFDMA.

Многопользовательские MIMO и OFDMA

В стандарте 802.11ax будет определено два режима работы:

Single User (один пользователь). В этом режиме беспроводные станции STA посылают и принимают данные точек доступа AP по одному, как только они получают доступ к среде. Механизм доступа был описан в первой части статьи.

Multi-User (многопользовательский режим). Этот режим позволяет точке доступа одновременно работать с несколькими STA. Стандарт делит этот режим дальше на многопользовательский Downlink и Uplink.

Downlink Multi-User позволяет точке доступа AP одновременно передавать данные нескольским беспроводным STA, которые обслуживаются в зоне радиопокрытия AP. Существующий стандарт 802.11ac уже определяет эту функцию. А вот многопользовательский Uplink является нововведением.

Uplink Multi-User позволяет точке доступа AP одновременно принимать данные от нескольких беспроводных станций STA. Это новая возможность стандарта 802.11ax, которая не существовала ни в одной из предыдущих версий стандарта Wi-Fi.

В многопользовательском режиме работы стандарт также определяет два разных способа мультиплексирования большего числа пользователей в определенной области: Multi-User MIMO и OFDMA. Для обоих этих методов точка доступа AP выступает в качестве центрального контроллера, аналогично тому, как сотовая базовая станция LTE управляет мультиплексированием пользователей в зоне обслуживания. Рассмотрим MU-MIMO и OFDMA более подробно.

Многопользовательский MIMO

Устройства 802.11ax будут использовать методы формирования диаграммы направленности (заимствованные из 802.11ac) для одновременного направления пакетов к нескольким пространственно разнесенным пользователям. То есть, точка доступа AP будет вычислять матрицу каналов для каждого пользователя и управлять параллельными лучами для разных пользователей, причем каждый луч будет содержать пакеты для своего конкретного пользователя.

В 802.11ax поддерживается одновременная отправка до восьми многопользовательских MIMO-потоков. Кроме того, каждый поток MU-MIMO может иметь собственный MCS (скорость передачи и степень модуляции). К разным пользователям может быть организовано произвольное количество потоков. При использовании пространственного мультиплексирования MU-MIMO, точки доступа можно будет сравнить с коммутатором Ethernet, имеющим несколько портов. Каждый отдельный порт – это отдельный поток MU-MIMO. При этом, до каждого отдельного абонента может быть "проброшено" несколько потоков:

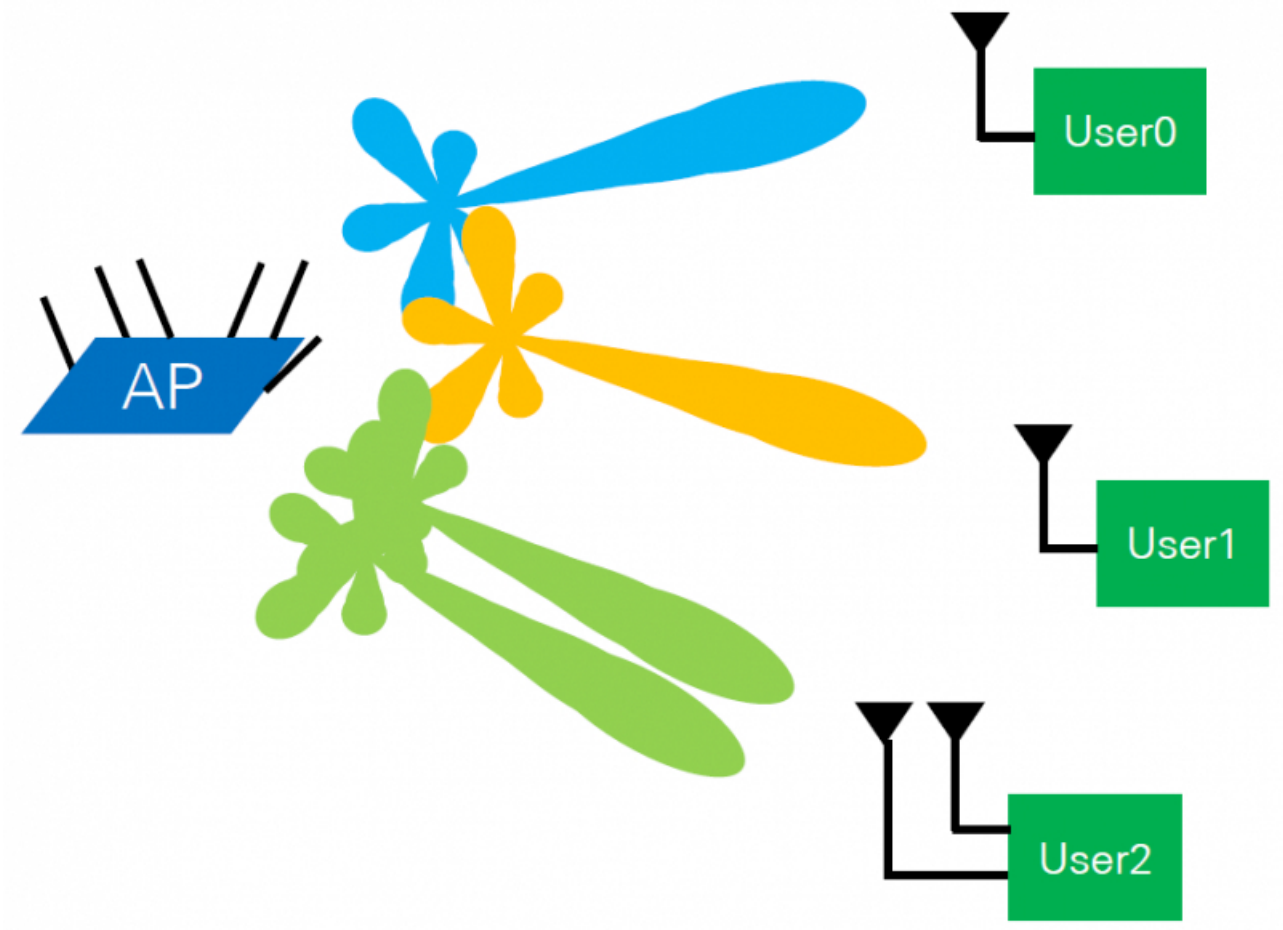

Рисунок 2 – MU-MIMO Beamforming для обслуживания множества, пространственно разнесенных пользователей

Новой функциональностью в 802.11ax является MU-MIMO Uplink. Как было указано выше, точка доступа AP может инициировать одновременный прием пакетов от каждой из STA посредством триггерного кадра. Когда несколько STA в ответ на триггерный кадр передают свои собственные пакеты, точка доступа AP применяет матрицу каналов к принятым лучам и отделяет информацию, содержащуюся в каждом луче. Так AP также может инициировать многопользовательский прием одновременный от всех абонентских STA в сети:

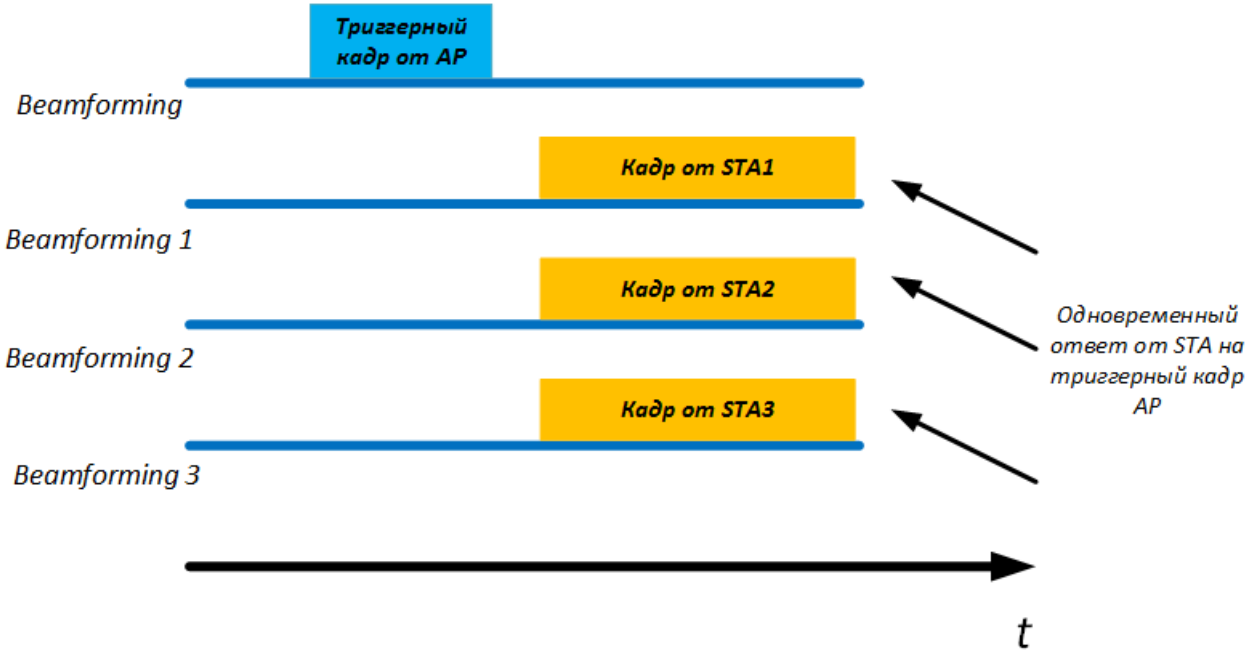

Рисунок 3 - *MU-MIMO Uplink*

Многопользовательский OFDMA

В стандарте 802.11ax появится новая для Wi-Fi, заимствованная из сетей 4G, технология мультиплексирования большого количества абонентов в общей полосе пропускания: Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA). Эта технология основывается на OFDM, которая уже используется в 802.11ac. Суть ее в том, что OFDMA в 802.11ax позволяет дополнительно "нарезать" стандартные каналы шириной 20, 40, 80 и 160 МГц на более мелкие. Таким образом, происходит разделение каналов на более мелкие подканалы с предопределенным количеством поднесущих. Как и в LTE, в стандарте 802.11ax наименьший подканал называется Resource Unit (RU), имеющий минимальный размер в 26 поднесущих. Для наглядности, на рисунке ниже изображено разделение частотных ресурсов для одного пользователя с использованием OFDM (слева) и мультиплексирование четырех пользователей в одном канале с использованием OFDMA (справа):

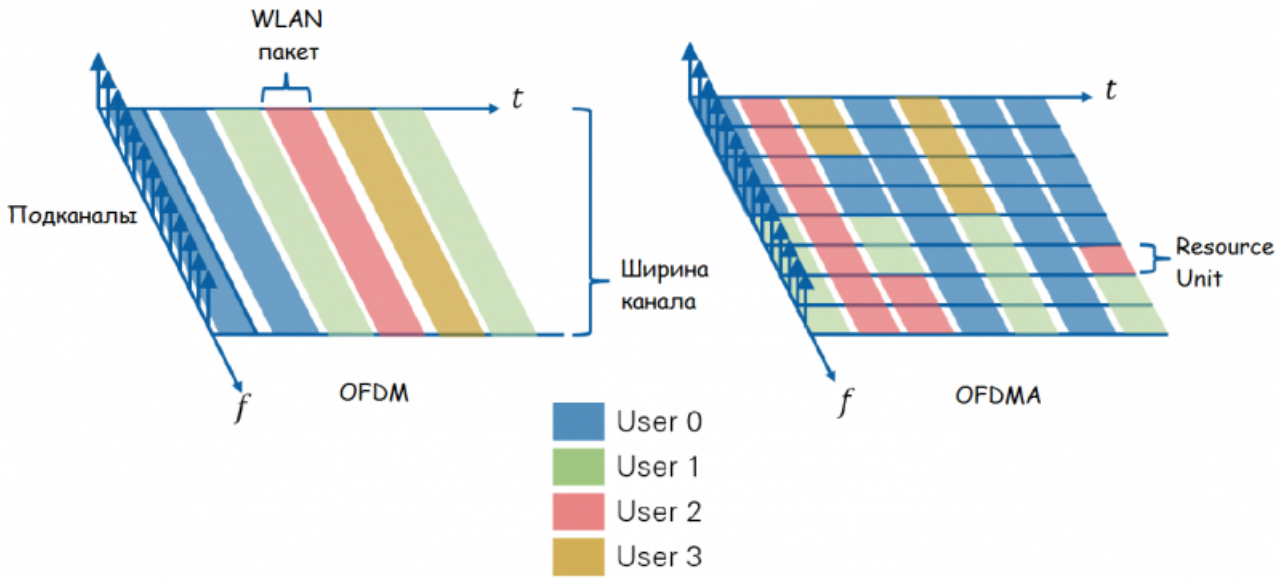

Рисунок 4 – *OFDMA в 802.11ax*

В загруженных средах, где многие пользователи обычно будут неэффективно бороться за использование канала, новый для Wi-Fi механизм OFDMA обслуживает их одновременно с меньшим, но выделенным специально для пользователя подканалом, что улучшает среднюю пропускную способность для каждого отдельного пользователя.

На рисунке ниже показано, как система 802.11ax может мультиплексировать канал, используя разные размеры RU. Обратите внимание, что наименьшее разделение канала вмещает до 9 пользователей на каждые 20 МГц полосы пропускания:

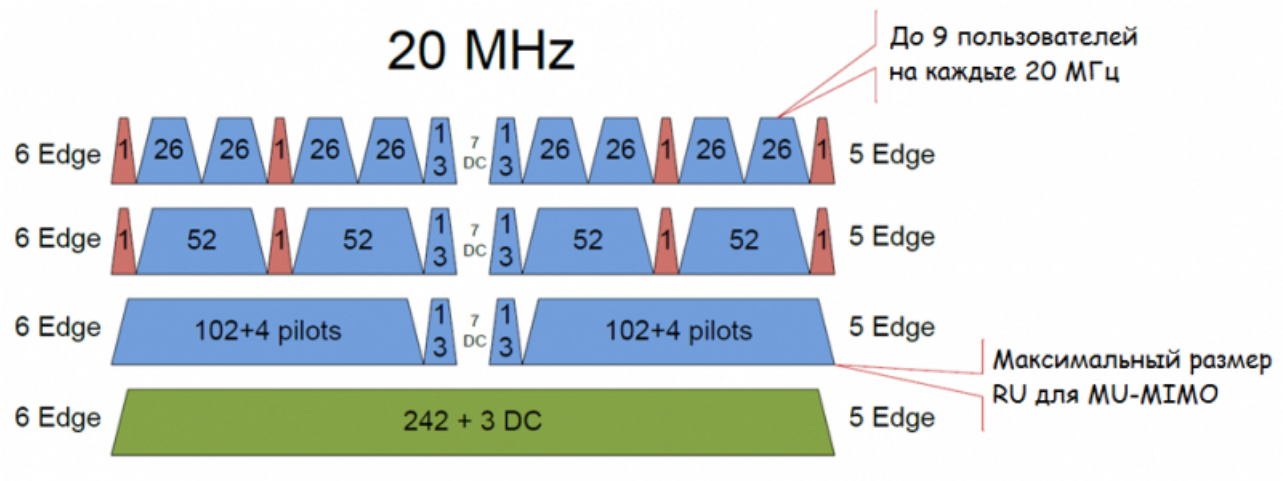

Рисунок 5

Разделение каналов Wi-Fi с использованием каналов шириной 40 МГц:

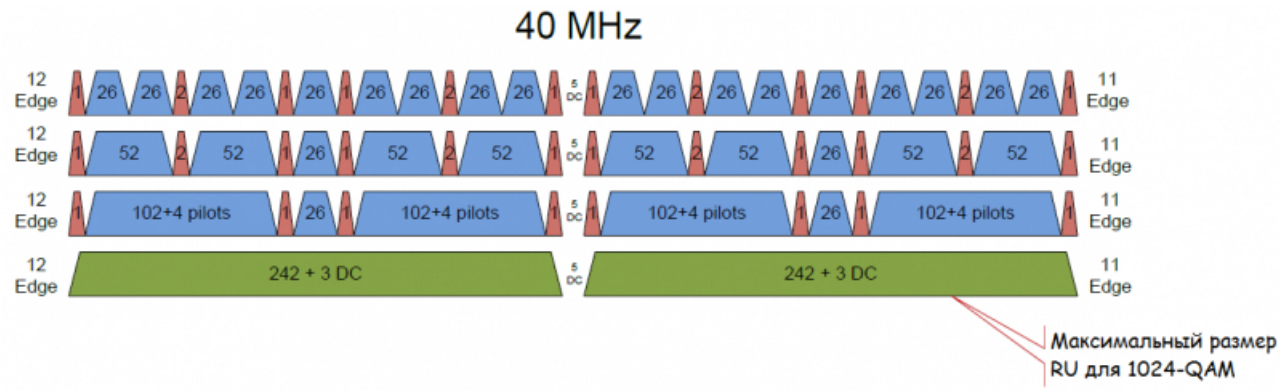

Рисунок 6

Разделение каналов Wi-Fi с использованием каналов шириной 80 МГц:

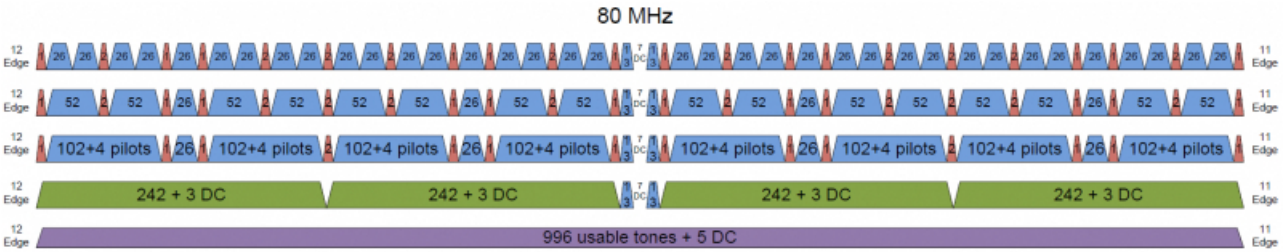

Рисунок 7

В следующей таблице показано количество пользователей (для различной ширины каналов), которые теперь могут получать частотно-мультиплексированный доступ OFDMA:

Количество подканалов RU	**Ширина канала 20 МГц**	**Ширина канала 40 МГц**	**Ширина канала 80 МГц**	**Ширина канала 160 МГц**
26	9	18	37	74
52	4	8	16	32
106	2	4	8	16
242	1-SU/MU-MIMO	2	4	8

484	N/A	1-SU/MU-MIMO	2	4
966	N/A	N/A	1-SU/MU-MIMO	4
2x966	N/A	N/A	N/A	1-SU/MU-MIMO

Работа Multi-User Uplink

Как было отмечено выше, в 802.11ax появится возможность одновременной передачи пакетов от нескольких абонентов к точке доступа. Для координации работы MU-MIMO или Uplink OFDMA, точка доступа AP передает триггерный кадр всем пользователям. Этот кадр указывает количество пространственных потоков и / или параметры OFDMA (частоту и размеры RU) каждого пользователя. Триггерный кадр также содержит информацию об управлении мощностью, так что отдельные пользователи могут увеличивать или уменьшать свою передаваемую мощность, стремясь уравнять мощность, получаемую точкой доступа AP от всех пользователей, и улучшать тем самым качество приема кадров. AP также инструктирует всех пользователей, когда начинать и останавливать передачу. AP отправляет многопользовательский триггерный кадр, который указывает всем пользователям точный момент времени, когда они все должны начать передавать данные, и точную продолжительность их кадров, чтобы гарантировать, что все они завершат передачу одновременно. Как только AP получает кадры от всех пользователей, она отправляет обратно ACK блок, говорящий о завершении передачи:

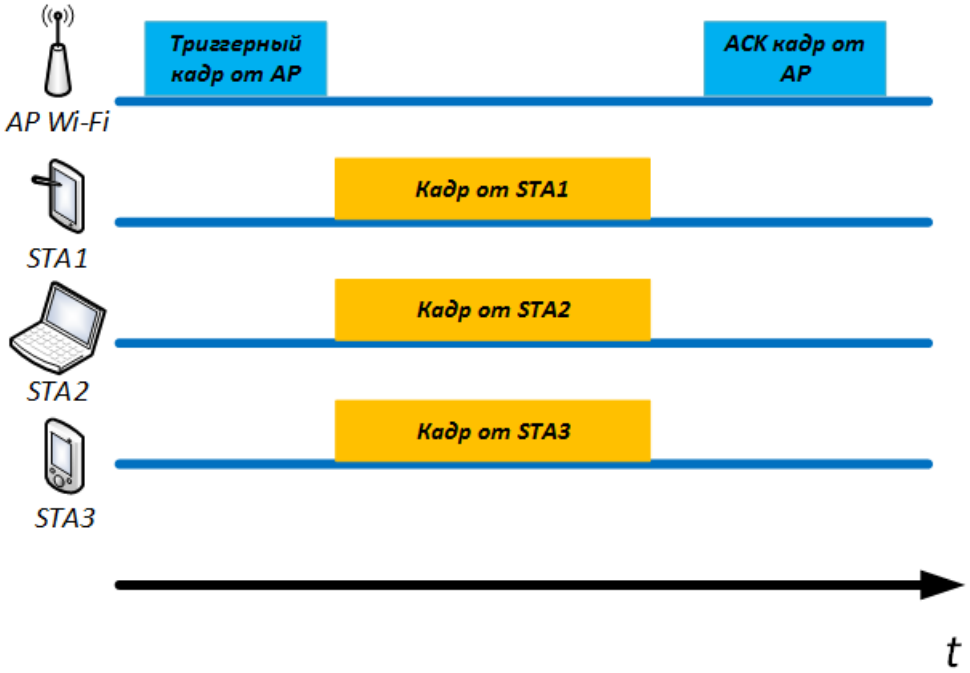

Рисунок 8 - Координация многопользовательской работы устройств в Wi-Fi-сети

Заключение

Одной из основных целей стандарта 802.11ax является обеспечение более высокой средней пропускной способности на каждого пользователя (в среднем в 4 раза) в плотных беспроводных сетях. С этой целью, устройства 802.11ax поддерживают работу многопользовательских технологий MIMO и OFDMA. Также добавлена возможность одновременной передачи от нескольких устройств точке доступа AP, тем самым планируется снижение времени ожидания и простоя оборудования из-за неудачных попыток захватить среду передачи. В теории все выглядит, как всегда, четко и красиво, однако, какой эффект будет на практике - покажет время. Пока же можно с уверенностью сказать лишь то, что эффект от 802.11ax будет только в том случае, если в сети все устройства будут поддерживать новый стандарт. Иначе, должно будет пройти еще несколько лет, прежде чем мы перейдем от старого доброго Wi-Fi (с его зависаниями в крупных сетях) к эффективному 802.11ax.