

802.11ax – НОВАЯ ВЕРСИЯ СТАНДАРТА ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ WI-FI



В статье приведена краткая информация об особенностях и преимуществах нового стандарта беспроводной связи Wi-Fi 802.11ax, предназначенного для повышения скорости передачи данных в четыре раза в местах большого скопления пользователей.

В. Макаренко

802.11ax – A NEW VERSION STANDART OF THE HIGH-SPEED WI-FI COMMUNICATION SYSTEM

Abstract - The article briefly describes the features and benefits of the new wireless standard Wi-Fi 802.11ax, designed to increase the data transfer speed four times in places where users are crowded.

V. Makarenko

В [1] сравниваются достижения в области автомобилестроения (на примере компании Феррари) и систем связи стандарта 802.11. В 2015 г. компания Феррари выпустила на рынок модель автомобиля Ferrari California T, оснащенного двигателем мощностью 553 л.с (412 кВт), который разгоняется до скорости 100 км/ч за 3.6 с.

Сегодня большинство людей не смогут приобрести итальянский спорткар и наслаждаться комфортной и высокоскоростной ездой на отдыхе или в путешествиях, но они в состоянии наслаждаться высокоскоростной беспроводной связью, что стало весьма существенным фактором для современного пользователя.

Для лучшего понимания того, какие скорости передачи данных требуются на сегодняшний день, в табл. 1 приведены зависимости необходимой скорости передачи информации для некоторых форматов видеосигналов.

Первые устройства стандарта Wi-Fi 802.11 b (1999 г.), обеспечивали максимальную скорость передачи данных 11 Мбит/с. Это достижение было хорошим первым шагом, но по скорости передачи данных значительно уступало проводным системам связи.

Спустя четыре года была разработана версия стандарта 802.11g (2003 г.), который обеспечивал увеличение скорости передачи данных до 54 Мбит/с благодаря внедрению технологии мультиплексирования с ортогональным частотным разделением (OFDM).

Следующий этап повышения скорости пришел с внедрением стандарта 802.11n (2009 г.). Скорость передачи данных была увеличена до 150 Мбит/с.

Разработка и внедрение стандарта 802.11ac (2013 г.) обеспечивает возможность передачи данных на скоростях около 866 Мбит/с на один пространственный поток в канале с полосой пропуска-

Таблица 1. Зависимость скорости потока видеосигнала от его характеристик

Тип видеосигнала	Описание	Скорость потока
Без компрессии	720p (RGB) 1280×720 пикс.; 24 бит/пикс., 60 кадр/с	1.3 Гбит/с
	1080i (RGB) 1920×1080/2 пикс.; 24 бит/пикс., 60 кадр/с	1.5 Гбит/с
	1080p (YCrCb) 1920×720 пикс.; 24 бит/пикс., 60 кадр/с	3.0 Гбит/с
	1080p (RGB) 1920×720 пикс.; 24 бит/пикс., 60 кадр/с	3.0 Гбит/с
Слабое сжатие	Motion JPEG2000	150 Мбит/с
	H.264	70...200 Мбит/с
Сжатый	Blu-ray™	50 Мбит/с
	HD MPEG2	20 Мбит/с
	Ultra HD или 4K (3840×2160 пикс.)	100...300 Мбит/с

ния 160 МГц. Стандарт 802.11ac позволяет осуществлять одновременную передачу различных данных нескольким станциям в нисходящем канале (Downlink Multi-user Multiple Input Multiple Output, DL MU MIMO), т.е. от точки доступа к станциям.

При использовании: метода модуляции 256-QAM и восьми пространственных потоков (максимального количество); многопользовательского доступа MIMO (MU-MIMO) и алгоритма STA (Spanning Tree Algorithm – алгоритма покрывающего/связывающего дерева сети) при работе с одной или несколькими антеннами; множественного доступа с пространственным разделением каналов (SDMA – Space Division Multiple Access), при котором потоки разделены не по частоте, а в пространстве, аналогично MIMO в стандарте 802.11n, теоретически можно достичь максимальной скорости передачи данных 6,97 Гбит/с. Благодаря использованию перечисленных выше технологий, в стандарте 802.11ac, реализована передача или прием одновременно несколько независимых потоков данных [2].

Однако такую скорость можно получить только в тестовой лаборатории. В действительности, пользователи обычно получают удручающе медленный трафик данных при попытке проверить свою электронную почту через общественный Wi-Fi Интернет (например, в оживленном терминале аэропорта).

IEEE утвердила стандарт 802.11ad, обеспечивающий скорость передачи данных до 7 Гбит/с, в конце 2012 года. Технология передачи данных, описанная в этом стандарте, служит основой для построения трехдиапазонных сетей и беспроводных док-станций.

В отличие от стандарта 802.11ac [3] в стандарте 802.11ad в дополнение к двум традиционным предусмотрен еще один частотный диапазон – 60 ГГц. В то время как в частотных диапазонах 2.4 ГГц и 5 ГГц диаграмма направленности антенны близка к круговой, то в диапазоне 60 ГГц она остронаправленная. Эта особенность важна для понимания роли стандарта 802.11ad. Он не разрабатывался как замена пользовательским беспроводным сетям Wi-Fi, а дополняет их возможности. Введение диапазона 60 ГГц (сигналы в котором значительно ослабляются при прохождении через стены) сделано для обеспечения высокоскоростной беспроводной связи напрямую между различными устройствами, например, между ноутбуком и дисплеем или телевизионным приемником. Причем при скорости передачи 7 Гбит/с можно обеспечить передачу несжатого ви-

деокодекта высокого разрешения. В табл. 1 приведены характеристики широко используемых в настоящее время видеосигналов и соответствующие им скорости передачи информации.

Низкочастотные диапазоны, предусмотренные стандартом [1], позволяют строить сети Wi-Fi со скоростью передачи данных до 1.5 Гбит/с.

Стандартом 802.11ad предусмотрено создание до 256 частотных диапазонов для работы устройств:

- 0 – свободные ТВ-каналы
- 1 – 1 ГГц (исключая свободные ТВ-каналы)
- 2 – 2.4 ГГц
- 3 – 3.6 ГГц
- 4 – 4.9 и 5 ГГц
- 5 – 60 ГГц
- 6...255 – резервные диапазоны.

Новая редакция стандарта беспроводных сетей IEEE 802.11ax направлена на повышение скорости обмена данными в местах большого скопления пользователей. Помимо повышения скорости передачи данных новый стандарт реализует несколько механизмов для обслуживания большего количества пользователей и повышения надежности передачи данных в беспроводных сетях.

Главные отличительные характеристики 802.11ax:

- 802.11ax обеспечивает работу в диапазонах частот 2.4 и 5 ГГц
- поддерживает базовые частотные полосы 20/40/80/160 МГц
- поддерживает работу MIMO 8×8 и обеспечивает одновременную передачу до 8 пространственных потоков
- поддерживает работу MU-MIMO в двух направлениях (DL и UL).
- поддержка MU-MIMO обеспечивает взаимодействие с точкой доступа 802.11ax одновременно в двух направлениях
- поддержка модуляции типов 512 и 1024QAM
- обновленная схема передачи преамбулы и повторной переотправки.

За счет применения всех рассматриваемых механизмов в комбинации, стандарт 802.11ax теоретически сможет обеспечить скорости передачи информации до 10 Гбит/с.

Для сравнения характеристик различных версий стандартов Wi-Fi в табл. 2 приведены их основные параметры.

В стандарте 802.11ax применяется технология MU MIMO и для передачи в восходящем канале (Uplink Multi-user Multiple Input Multiple Output, UL MU

Таблица 2. Основные параметры различных версий стандартов Wi-Fi

Версия стандарта	802.11	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n	802.11ac	802.11ax
Год ратификации	1997	1999	1999	2003	2009	2014	2017-2019
Рабочая частота, ГГц	2.4 /IR	2.4	5	2.4	2.4/5	5	2.4/5
Ширина полосы канала связи, МГц	20	20	20	20	20/40	20/40/80/160	20/40/80/160
Пиковая физическая скорость (PHY), Мбит/с	2	11	54	54	600	6933	9608
Макс. количество SU-потоков (SU Streams)	1	1	1	1	4	8	8
Макс. количество MU-потоков (MU Streams)	–	–	–	–	–	4	8
Технология передачи данных	DSSS, FHSS	DSSS, CCK	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM, OFDMA
Тип модуляции и скорость кодирования	DQPSK	CCK	64-QAM, 3/4	64-QAM, 3/4	64-QAM, 5/6	256-QAM, 5/6	1024-QAM, 5/6
Макс. количество поднесущих OFDM	–	–	64	64	128	512	2048
Разнесение несущих, кГц	–	–	312.5	312.5	312.5	312.5	78.125

ММО), т.е. от пользователей к точке доступа. Кроме того, для того чтобы более эффективно использовать широкий частотный диапазон и бороться с частотноселективными замираниями и интерференцией, впервые будет применяться множественный доступ с ортогональным частотным разделением (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access – OFDMA) [4].

Стандарт IEEE 802.11ax направлен на повышение эффективности работы сетей Wi-Fi в различных условиях. Особенно это важно при создании беспроводных сетей для стадионов, аэропортов, вокзалов, выставочных залов, торговых центров, где сотни точек доступа Wi-Fi работают в сравнительно небольшой ограниченной области пространства (рис. 1). Подобное плотное размещение беспроводных сетей характерно и для жилых или офисных зданий. На сегодняшний день во многих квартирах или офисах, как правило, есть одна или даже несколько точек доступа Wi-Fi.

При планировании сетей 802.11ax предполагается наличие сильно неоднородного трафика, в то время как в предыдущих версиях Wi-Fi, как правило, учитывался только один тип трафика (например, ви-



Рис. 1. Пример объекта с высокой плотностью пользователей

деотрансляция в режиме реального времени, загрузка файлов или просмотр веб-страниц).

Еще одной особенностью IEEE 802.11ax является интенсивное использование восходящего канала в современных беспроводных сетях. Это объясняется многочисленными загрузками фото, видео и документов в социальные сети и облачные сервисы.

Новая версия стандарта предусматривает обратную совместимость с точками доступа, поддерживающими работу в более ранних версиях стандарта – "старыми точками".

Необходимо не допустить существенного ухудшения работы "старых точек" при одновременной работе в той-же сети точек доступа 802.11ax. Однако наличие "старых точек" может значительно снизить выигрыш, который можно получить благодаря использованию новых технологий стандарта 802.11ax.

Рассмотрим более подробно изменения, предлагаемые в стандарте IEEE 802/11ax.

Изменения на физическом уровне

Параметры физического уровня, который используется в 802.11ax, в целом близок к 802.11ac. В 802.11ax используется мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM) и поддерживается работа в частотных каналах шириной 20, 40, 80, 80+80 и 160 МГц.

Спецификация определяет четырехкратное увеличение количества поднесущих OFDM до 2048. Однако это приводит к существенным изменениям при работе со стандартом 802.11ax. Интервал между поднесущими сокращен в четыре раза по сравнению с интервалом между поднесущими предыдущих версий 802.11, сохраняя существующие полосы пропускания канала (рис. 2).

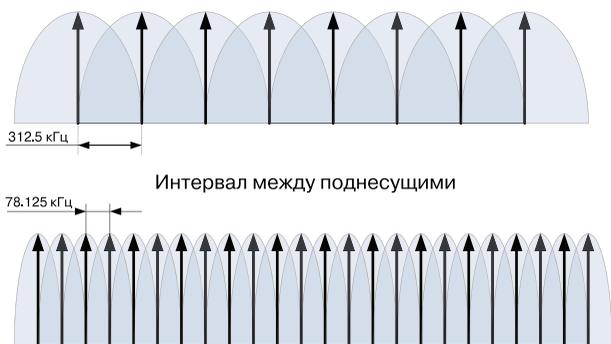


Рис. 2. Изменение интервала между несущими OFDM-сигнала в стандарте 802.11ax

В 802.11ax дополнительно будет использоваться множественный доступ с ортогональным частотным разделением (OFDMA). Чтобы увеличить количество поднесущих и обеспечить лучшую избирательность при использовании технологии OFDMA, длительность OFDM-символов, которые используются для передачи блока пользовательских данных, была увеличена в 4 раза, т.е. равна 12,8 мкс вместо 3,2 мкс [4]. Надежность многопользовательской пере-

дачи в восходящем канале будет возрастать, так как в случае увеличения джиттера из-за неточной синхронизации по времени устройств различных пользователей, при увеличенной длительности символа вероятность ошибок уменьшается.

В стандарте 802.11ax предусмотрено увеличение защитного интервала (Guard Interval, GI) между OFDM-символами, что позволяет уменьшить межсимвольную интерференцию и обеспечивает более устойчивую связь в помещениях и в смешанных среде – помещение/улица. Предусмотрено три варианта длительности защитного интервала: стандартный 0.8 мкс, а также увеличенные 1.6 мкс и 3.2 мкс (предусмотрена также возможность, как и в стандарте 802.11ad, для увеличения скорости передачи информации формировать укороченный защитный интервал длительностью 0.4 мкс) [1].

Модифицирован формат кадров. Каждый кадр начинается с преамбулы, которая, в случае использования канала шириной более 20 МГц, дублируется в каждом подканале шириной 20 МГц (рис. 3).

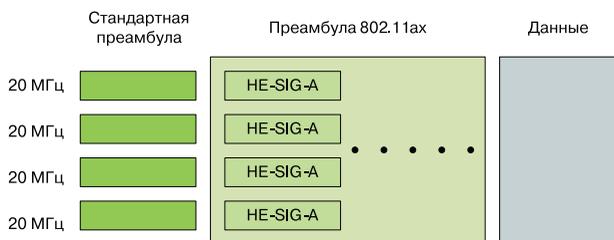


Рис. 3. Дублирование стандартной преамбулы и поля HE-SIG-A в преамбуле 802.11ax в каждом подканале шириной 20 МГц

Преамбула состоит из двух частей: стандартной части и преамбулы 802.11ax. Стандартная часть преамбулы может быть декодирована любыми станциями Wi-Fi и используется для обеспечения обратной совместимости с ними. Кроме того, она содержит специальные обучающие последовательности (LSTF и LLTF), которые необходимы для синхронизации приемника и настройки на принимаемый сигнал, а также поле LSIG с информацией, необходимой для вычисления длительности кадра (рис. 4). Преамбула 802.11ax может быть декодирована только станциями 802.11ax. Важно уметь быстро и с высокой вероятностью отличить кадр 802.11ax от кадров предыдущих дополнений. Для этого принято решение дублировать поле LSIG стандартной части преамбулы [4]. Обнаружив повтор поля LSIG, 802.11ax-станция детектирует кадр 802.11ax. Новая преамбула содержит обязательное

поле HE-SIG-A, опциональное поле HE-SIG-B, а также специальные обучающие последовательности, необходимые для настройки MIMO.



Рис. 4. Структура кадра 802.11ax

Длительность поля HE-SIG-A составляет два OFDM-символа, которые, в случае использования канала шириной более 20 МГц, дублируются в каждом подканале шириной 20 МГц и содержат информацию (рис. 5), необходимую для приема и обработки пакета: используемую сигнально-кодую конструкцию (СКК), ширину канала, количество пространственных потоков (Number of Spatial Streams). Поле HE-SIG-A содержит такую информацию, как неуникальный идентификатор сети (BSS color), длительность планируемых передач (Transmission opportunity, TXOP), флаг, указывающий на то, в восходящем или нисходящем канале ведется передача, и др. Наличие данной информации в преамбуле позволяет получить важные сведения без декодирования пакета целиком. Так как поле HE-SIG-A содержит служебную информацию, которая может оказаться полезной не только для предполагаемого приемника, но и для других станций сети, то необходимо обеспечить надежную передачу данного поля.

Для повышения эффективности использования канального ресурса решено использовать следующий подход: при использовании для передачи каналов шириной ≥ 40 МГц два соседних подканала шириной 20 МГц содержат разные части поля HE-SIG-B, в то время как остальные подканалы дублируют информацию (рис. 5).

В стандарте IEEE 802.11ax можно использовать в сетях Wi-Fi квадратурную модуляцию 1024-QAM. Использование модуляции такого высокого порядка требует большого отношения сигнал/шум, чтобы обеспечить малую вероятность появления ошибок. Модуляция 1024-QAM в основном предназначена для использования в помещениях при небольшом расстоянии между передатчиком и приемником и



Рис. 5. Содержимое подканалов шириной 20 МГц при передаче поля HE-SIG-B в канале шириной 40 МГц

позволяет повысить пропускную способность более чем на 20%. Кроме того, в стандарте 802.11ax можно использовать так называемую двойную модуляцию поднесущей (Dual sub-carrier modulation – DCM), предполагающей передачу одинаковой информации на двух поднесущих, которые расположены достаточно далеко друг от друга в частотной области, что обеспечивает низкую взаимную интерференцию.

Передача служебных кадров использует значительную долю канального ресурса. Чтобы уменьшить накладные расходы, возникающие из-за наличия служебного трафика, дополнение 802.11ax запрещает передачу биконов (тело фрейма Бикона содержит идентификатор сети WLAN: SSID, временные отметки (timestamp) и другую информацию о точке доступа) и ряда других служебных кадров в диапазоне 2.4 ГГц на скоростях, меньших 5.5 Мбит/с [4, 5].

В стандарте 802.11ac в сетях Wi-Fi впервые появилась возможность осуществлять одновременную передачу разных данных точкой доступа нескольким пользователям. Эта технология получила название DL MU MIMO, так как для передачи используется пространственное мультиплексирование. В силу особенностей распространения радиосигнала иногда можно значительно увеличить суммарную пропускную способность, если выполнять передачу нескольких пространственных потоков пользователям, находящимся в разных областях пространства (технология MU MIMO), а не передачу нескольких пространственных потоков одному пользователю (технология MIMO), как показано на рис. 6. В дополнении 802.11ax сделан очередной шаг развития сетей Wi-Fi в этом направлении и предложено решить более сложную задачу – организовать пространственное мультиплексирование в восходящем канале (UL MU MIMO).

Для осуществления многопользовательской передачи в стандарте 802.11ax, кроме технологии MIMO, используется также множественный доступ с ортогональным частотным разделением (OFDMA). Важная особенность технологии OFDMA состоит в том, что передача данных может осуществляться на тех поднесущих, которые для данного пользователя наименее подвержены частотно-селективной ин-

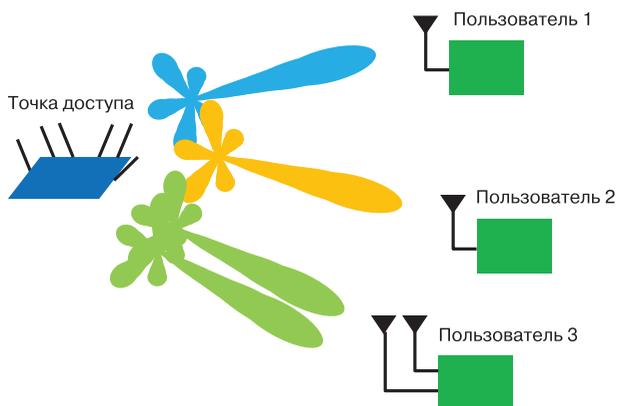


Рис. 6. Формирование лучей MU-MIMO для обслуживания множества пользователей, расположенных в пространственно-разнесенных позициях

терференции. Для выбора таких поднесущих каждая точка доступа отправляет отчеты о качестве передачи с использованием разных поднесущих. Выбор поднесущих с учетом обратной связи о качестве передачи позволяет увеличить пропускную способность до 50% по сравнению со случайным выбором поднесущих.

Для управления частотными ресурсами в сети каждая передача может занимать один или несколько ресурсных блоков. В частотной области каждый ресурсный блок может состоять из 26, 52, 106, 242, 484 или 996 поднесущих (включая некоторое число служебных поднесущих). Во временной области длительность ресурсного блока равняется длительности многопользовательской передачи и каждый раз определяется точкой доступа. Таким образом, для многопользовательской передачи частотные диапазоны шириной 20, 40, 80 и 160 МГц представ-

ляют собой один ресурсный блок из 242 поднесущих, два ресурсных блока из 242 поднесущих, два ресурсных блока из 484 поднесущих и два ресурсных блока из 996 поднесущих, соответственно. Каждый такой ресурсный блок, в свою очередь, может быть разделен на два более узких ресурсных блока, и т.д. Однако существует ряд исключений. Например, в канале шириной 20 МГц ресурсный блок из 242 поднесущих может быть заменен на два ресурсных блока, каждый из которых состоит из 106 поднесущих, а в канале шириной ≥ 40 МГц ресурсный блок из 242 поднесущих может быть заменен на два ресурсных блока, каждый из которых состоит из 106 поднесущих, и один ресурсный блок из 26 поднесущих. Хотя технология OFDMA может применяться как при передаче в восходящем, так и при передаче в нисходящем канале, стандарт 802.11ax не позволяет осуществлять передачу в восходящем и нисходящем каналах одновременно.

Основываясь на потребностях в многопользовательском трафике, точка доступа решает, как распределять канал, всегда назначая все доступные ресурсы на нисходящей линии связи. Она может выделять весь канал только одному пользователю (как это реализуется в 802.11ac) или может разбить его для одновременного обслуживания нескольких пользователей (рис. 7).

Рассмотрим подробнее, как организована передача данных в восходящем и нисходящем каналах с помощью технологии OFDMA. В случае передачи в нисходящем канале кадр содержит общую для всех получателей преамбулу, в которой указывается информация о назначении конкретных ресурсных блоков каждому из получателей.

Осуществление многопользовательской пере-

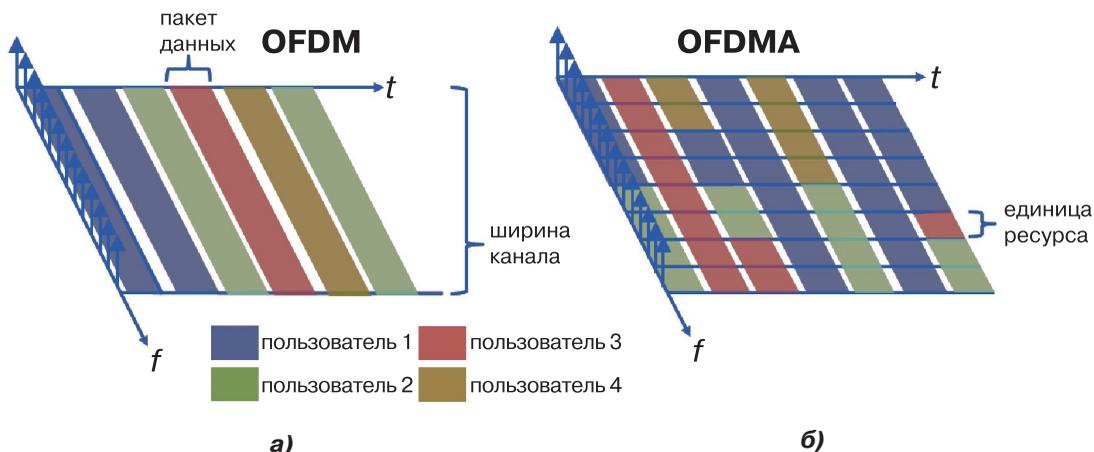


Рис. 7. Один пользователь, использующий канал с использованием OFDM (а) и мультиплексирование различных пользователей в одном канале с использованием OFDMA (б)

дачи в восходящем канале более сложная задача так как передача выполняется синхронно несколькими пользователями, а точка доступа выступает в роли координатора и определяет момент начала передачи. Для этого она должна получить информацию о данных для передачи и назначить ресурсные блоки для передачи тем пользователям, у которых имеются данные.

Для информирования точки доступа о наличии данных для передачи пользователи периодически отправляют ей отчеты. Такие отчеты могут иметь различную степень детализации, могут отправляться как по предварительному запросу точки доступа, так и без него. С учетом полученной информации точка доступа определяет длительность передачи в восходящем канале, распределяет ресурсные блоки между пользователями и информирует их об этих и других необходимых параметрах (например, о длительности защитного интервала GI, который должен быть одинаковым для всех пользователей при многопользовательской передаче в восходящем канале) с помощью отправки нового служебного триггер-кадра (Trigger frame или просто Trigger). Для обеспечения синхронизации времени между передающими устройствами многопользовательская передача в восходящем канале начинается сразу после получения триггер-кадра [1, 4].

Точка доступа также может инициировать многопользовательскую систему в восходящем потоке, запрашивая информацию обратной связи для формированию лучей от всех участвующих в передаче устройств пользователей (рис. 8).

802.11ax использует явную процедуру формирования луча, аналогичную процедуре 802.11ac. В соответствии с этой процедурой формирователь луча инициирует процедуру зондирования канала с помощью Null Data Packet. Формирователь диаграммы направленности анализирует канал и формирует блок обратной связи, содержащий сжатую матрицу обратной связи V для формирования луча. Формирователь луча использует эту информацию для вычисления матрицы каналов H . Затем формирователь луча может использовать эту матрицу каналов для фокусировки излучаемой энергии по отношению к каждому пользователю.

Блок обратной связи формирования луча (Beamforming feedback frame) указывает количество пространственных потоков и/или распределение OFDMA (частот и ресурсных блоков) каждого пользователя. Он также содержит информацию управления мощностью передатчика. Это необходимо для того, чтобы уравнивать уровни сигналов, которые получает точка доступа от различных пользователей восходящей линии связи и улучшить прием кадров от удаленных устройств. Точка доступа также инструктирует всех пользователей при запуске и прекращении передачи. Как показано на рис. 9, точка доступа отправляет многопользовательский триггер-кадр восходящей линии связи, который указывает всем пользователям точный момент, когда они все начинают передачу и точной продолжительности их кадра, чтобы гарантировать, что все они завершат передачу одновременно. Когда точка доступа получает кадры от всех пользователей, она отправляет им кадр

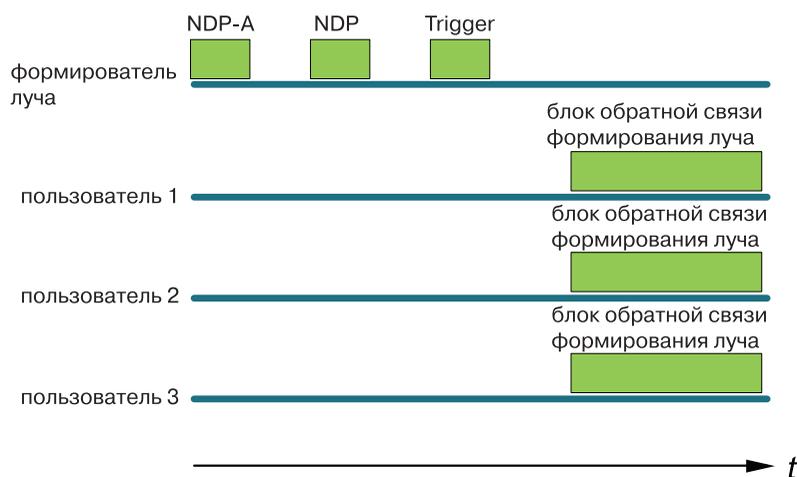


Рис. 8. Формирование диаграммы направленности точки доступа с помощью диаграммообразующих кадров (beamforming feedback) для работы MU-MIMO

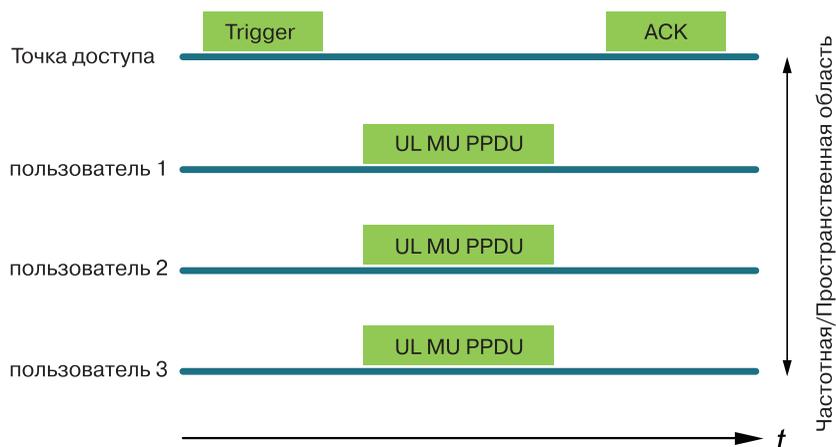


Рис. 9. Координация многопользовательской операции восходящей линии связи

подтверждения приема кадров (ACK) для завершения операции.

Методы повышения производительности

Одной из основных целей разработчиков стандарта 802.11ax является увеличение пропускной способности для пользователей в 4 раза в местах с плотным размещением точек доступа. С этой целью все устройства 802.11ax поддерживают работу по нисходящей линии связи Uplink MU-MIMO и MU-OFDMA для увеличения числа одновременно подключенных пользователей.

Для повышения производительности сетей Wi-Fi с плотным размещением точек доступа стандарт 802.11ax содержит ряд методов, которые повышают эффективность использования канальных ресурсов сетями с перекрывающимися областями радиовидимости (Overlapped BSS – OBSS).

В сетях Wi-Fi, чтобы определить, свободна среда для передачи или нет, каждый пользователь осуществляет ее прослушивание. В случае успешного декодирования преамбулы пакета пользователь считает среду занятой в течение указанной длительности передачи пакета. Также среда считается занятой, если пользователь детектирует наличие шума в канале, мощность которого превышает порог чувствительности не менее чем на 20 дБм.

В стандартах Wi-Fi введено понятие виртуальной занятости среды (механизм NAV – Network Allocation Vector). NAV можно представить как счетчик, значения кода в котором уменьшается во времени от некоторого значения до нуля. Если значение кода равно нулю, то канал свободен, иначе – занят. Значение кода счетчика изменяется при получении кадров. Заголовок кадра, генерируемый протоколом канального уровня, содержит поле Duration, в котором указывается планируемая длительность последую-

щих кадров (значение NAV). Получив очередной пакет, станция обновляет NAV, если значение Duration в данном кадре превышает текущее значение NAV. Значение NAV может быть сброшено раньше времени, при получении кадра CF-End.

В предыдущих версиях стандартов Wi-Fi детектирование виртуальной занятости среды не зависит от того, к какой сети принадлежит устройство, занявшее среду. Таким образом, на каждом устройстве имеется индикатор физической занятости среды и одно значение NAV, характеризующее виртуальную занятость среды. Одна из ключевых особенностей стандарта 802.11ax – учитывать при детектировании занятости среды, ведется ли передача внутри своей собственной сети или же внутри чужой сети. В зависимости от этого устройство может использовать различные пороги чувствительности, подстраивать мощность передатчика, менять значение NAV. Кроме того устройство может хранить несколько значений NAV, полученных от разных сетей, и предотвращает некорректное сбрасывание виртуальной занятости среды, установленное из-за передачи пакета внутри одной сети, при получении кадра CF-End от другой сети.

Для быстрого определения принадлежности принимаемого пакета к определенной сети без декодирования пакета целиком, преамбула 802.11ax содержит поле "цвет сети" (BSS color), в котором передается неуникальный идентификатор сети. Значение "цвета" выбирается точкой доступа случайным образом в момент инициализации сети. Впервые поле "цвет сети" появилось в дополнении стандарта 802.11ah, и его длина составляла всего 3 бита [4]. В версии стандарта 802.11ax размер поля увеличен до 6 бит для уменьшения вероятности совпадения "цвета" у двух сетей, находящихся в обла-

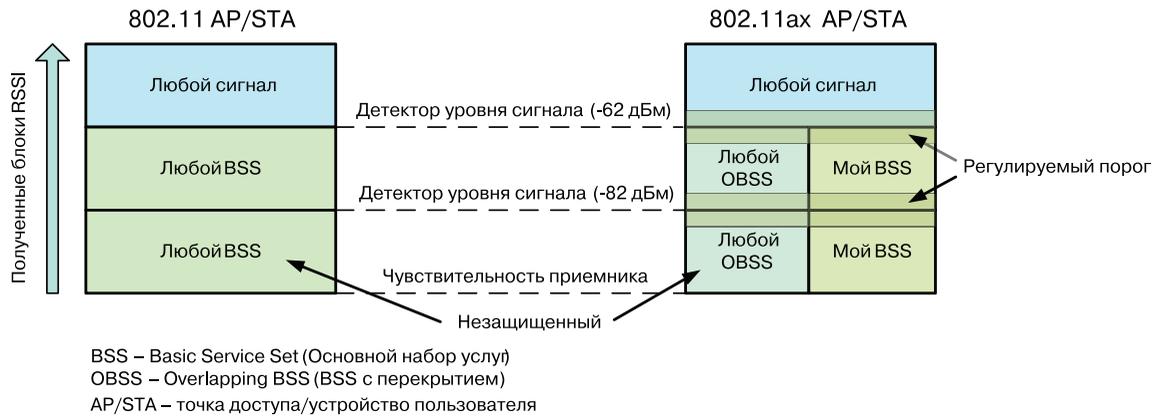


Рис. 10. Использование цветковых кодов для оценки занятости канала (Clear Channel Assessment)

сти радиовидимости.

Еще одной особенностью стандарта является режим работы энергосбережения с целевым временем пробуждения. Точка доступа 802.11ax может согласовывать с пользователями использование функции целевого времени пробуждения (TWT) для задания времени доступа к среде. Пользователи и точка доступа обмениваются информацией, которая включает ожидаемую продолжительность активности. Таким образом, точка доступа контролирует уровень конкуренции и перекрытия времени между пользователями, нуждающимися в доступе к среде. 802.11ax. Пользователи могут использовать TWT для снижения потребления энергии, переходя в состояние ожидания до тех пор, пока не поступит их TWT (рис. 11). Кроме того, точка доступа может дополнительно формировать графики работы и предоставлять значения TWT для пользователей без индивидуальных соглашений TWT между ними. В стандарте эта процедура имеет название Broadcast TWT.

Для того чтобы мощность сигнала, приходящего от различных пользователей в режиме многопользовательского режима работы к точке доступа, была примерно одинакова, точка доступа управляет мощностью передатчика каждого пользователя с помощью триггерного кадра.

Элементная база для построения систем связи Wi-Fi 802.11ax

Компания Qualcomm одной из первых приступила к разработке и выпуску устройств для реализации системы Wi-Fi 802.11ax. Она представила однокристалльные системы IPQ8074 и QCA6290, поддерживающие новую версию Wi-Fi [6, 7]. Система IPQ8074 предназначена для построения оборудования беспроводных сетей, а QCA6290 – для построения клиентских устройств.

Внедрение стандарта 802.11ax позволит в четыре раза расширить емкость сетей Wi-Fi, одновременно увеличивая время автономной работы мобильных устройств. Новые системы на кристалле от Qualcomm поддерживают 12-поточное подключение (восемь потоков в диапазоне 5 ГГц и четыре – в диапазоне 2.4 ГГц), различные конфигурации MU-MIMO, каналы шириной 80 МГц, поддержку модуляции OFDMA, применяемой в системах сотовой связи, и планировку трафика.

Следует отметить, что полностью преимущества нового стандарта могут быть реализованы только при использовании оборудования, поддерживающем 802.11ax. Однако и устройства предыдущих поколений, поддерживающие стандарты 802.11ac и 802.11n, в сетях 802.11ax будут работать более эффективно.

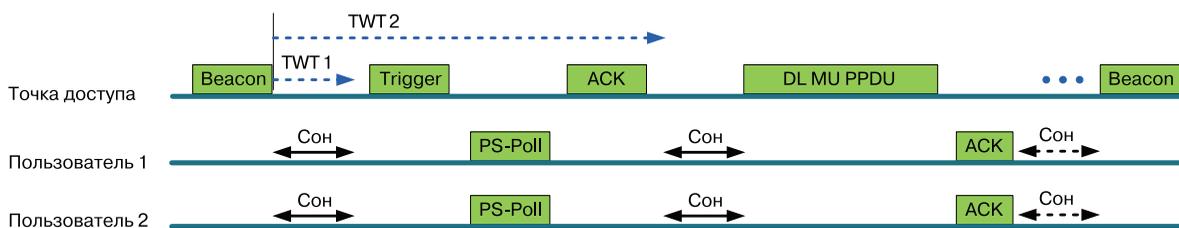


Рис. 11. Пример передачи данных в режиме снижения потребления энергии

Более подробную информацию об особенностях стандарта Wi-Fi 802.11ax можно найти в [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.techonline.com/electrical-engineers/education-training/tech-papers/4442856/802-11ax-High-Efficiency-Wireless/viewpdf>

2. Макаренко В.В. Особенности стандарта беспроводной связи IEEE 802.11ac (Wi-Fi) / Электронные компоненты и системы, №7, 2012. с. 28-35. – [http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/V.Makarenko_STANDARD%20IEEE%20802.11ac%20\(Wi-Fi\)_EKIS_7_2012-3.pdf](http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/V.Makarenko_STANDARD%20IEEE%20802.11ac%20(Wi-Fi)_EKIS_7_2012-3.pdf).

3. Макаренко В.В., Доля С.О. Особенности стандарта беспроводной связи IEEE 802.11ad (WiFi) / Электронные компоненты и системы, №4-6, 2014. с.

50-58. – http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/4-6_2014/V.Makarenko_IEEE_802.11ad_EKIS_4-6_200-02-2.pdf.

4. А.Г. Кирьянов, А. И. Ляхов, Д. А. Михлина, Е. М. Хоров, И.А. Щелкина Проблемы создания IEEE 802.11ax — нового поколения сетей Wi-Fi / Информационные процессы, Том 16, № 1, 2016, стр. 1–12.

5. Типы фреймов сети стандарта IEEE 802.11. – <http://wi-life.ru/tehnologii/wi-fi/wi-fi-frames-management-control-data>.

6. Wi-Fi with 802.11ax means unprecedented capacity and better efficiency. – <https://www.qualcomm.com/products/features/80211ax>.

7. <http://www.ixbt.com/news/2017/02/14/qualcomm-ipq8074-qca6290-wi-fi-802-11ax.html>.

[От ремесла к искусству]

ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

■ проектирование

Проектирование печатных плат в НПФ VD MAIS – это:

- многолетний опыт конструирования и знание специфики:
 - разработки электронных устройств
 - технологии производства печатных плат
 - различных CAD-CAM систем проектирования (P-CAD, Mentor Graphics, CAM-350 и пр.)
- полная реализация возможностей изготовителя печатных плат и контрактного производства VD MAIS
- качество работы, соответствующее требованиям стандартов ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 и ISO/TS 16949:2009



VD MAIS
PCB Professionally

тел.: (044) 220-0101, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (032) 245-5478, (095) 274-6897, (048) 734-1954, info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua