

## ОСОБЕННОСТИ СТАНДАРТА БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ IEEE 802.11ad (WiFi)

В статье приведена краткая информация о стандарте беспроводной связи IEEE 802.11ad, применение которого позволяет увеличить пропускную способность беспроводной сети до 7 Гбит/с. Даны сравнительные характеристики стандартов IEEE 802.11ac и IEEE 802.11ad.



### THE FEATURES OF WIRELESS STANDARDS IEEE 802.11ad (WiFi)

**Abstract** – The article contains brief information about the wireless standard IEEE 802.11ad, the use of which allows to increasing the throughput of a wireless network up to 7 GB/S. The comparative characteristics of the IEEE 802.11ac and IEEE 802.11ad are given.

*В. Макаренко, С. Доля*

*V. Makarenko, S. Dolia*

Более половины контента, передающегося в домашних сетях, – это видео, которое в особенности требовательно к пропускной способности сети. Кроме того, все большую часть контента составляет видео в формате HD, что требует еще больших скоростей передачи. А поскольку чаще всего домашние сети строятся с использованием технологии WiFi, то с учетом того, что в ближайшем будущем доля такого контента будет расти и в 2015 г. составит около 91% от всего трафика, это требует развития и внедрения новых стандартов WiFi.

IEEE утвердила стандарт 802.11ad [1], 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 [2] в стандарте 802.11ad в дополнение к двум традиционным предусмотрен еще один частотный диапазон – 60 ГГц [1].

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 нового стандарта 802.11ad. Он не разрабатывался как замена пользовательским беспроводным сетям WiFi, а дополняет их возможности. Введение диапазона 60 ГГц (сигналы в котором значительно затухают 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 видеоконтента 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 WiFi со скоростью передачи данных до 1.5 Гбайт/с. По мнению аналитиков применение устройств, реализующих стандарт 802.11ad, начнется в конце 2014 г, а широкое внедрение – в 2015 году.

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.

Чтобы показать отличия стандарта IEEE 802.11ad от IEEE 802.11ac, приведем краткую характеристику стандарта 802.11ac [2].

К основным особенностям стандарта следует отнести:

1. Объединение каналов (Channel Bonding) – объединение двух каналов с полосой пропускания 20 МГц в один с полосой пропускания

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) 1920×1080 пикс.; 24 бит/пикс., 60 кадр/с	3.0 Гбит/с
	1080p (RGB) 1920×1080 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

40 МГц, что приводит к удвоению пропускной способности. Однако, учитывая, что в диапазоне 2.4 ГГц всего 3 неперекрывающихся по частоте канала, использовать каналы с полосой пропускания 40 МГц рекомендуется только в диапазоне 5 ГГц. В диапазоне 5 ГГц стандартная ширина канала может составлять 80 МГц, а при объединении двух каналов она расширяется до 160 МГц.

2. Сосуществование каналов шириной 20/40 МГц (20/40 MHz Channels and Coexistence). При подключении клиент и AP (Access Point – точка доступа) обмениваются информацией (HT Information and Capabilities Elements), которая включает в себя ширину полосы пропускания канала, номер первичного канала и смещение вторичного канала шириной 40 МГц. Для исключения конфликтов при одновременной работе двух и более точек доступа точка доступа стандарта 802.11n должна переходить на другой канал или переключиться на использование канала с шириной полосы 20 МГц, если другая точка доступа начинает передачу в одной из полос объединенного канала с шириной полосы 40 МГц, который использует первая AP.

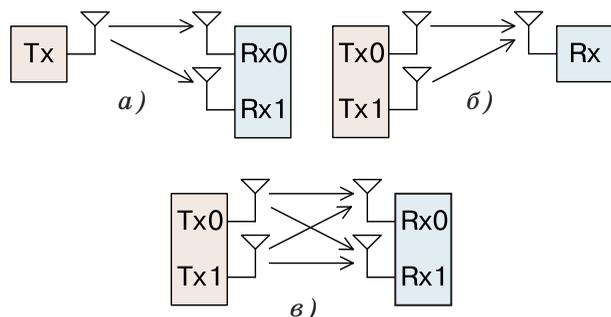
3. Использование технологий MIMO (Multiple Input, Multiple Output – много входов, много выходов) и SM (Spatial Multiplexing – пространственное объединение). При использовании технологии MIMO передача данных в бес-

проводных сетях осуществляется с применением двух и большего числа передающих и принимающих антенн. Передающие и приёмные антенны разнесены настолько, чтобы обеспечить слабую корреляцию между сигналами соседних антенн.

При использовании технологии SP реализуется повышение пропускной способности канала связи за счет передачи сигнала одновременно на нескольких несущих частотах (пространственным потокам – Spatial Streams) и последующего приема с объединением в один поток данных. Это возможно при использовании индивидуальной антенны и тракта приема/передачи на приемной и передающей стороне для каждого потока (рис. 1).

Так как ширина полосы пропускания канала ограничена, то увеличить пропускную способность канала, можно увеличивая отношение сигнал/шум на приемном конце. Этого можно достичь, если использовать на приемном конце дополнительные антенны, что приведет к увеличению суммарной мощности принимаемого сигнала. Эта технология получила название SIMO (Single Input, Multiple Output – один вход, много выходов) или антенное разнесение на приемной стороне (рис. 1,а).

Несколько антенн можно использовать на передающей стороне (рис. 1,б) – технология MISO (Multiple Input, Single Output – много входов, один выход). Сигналы, приходящие от



**Рис. 1. Использование многоантенных технологий на передающей и/или приемной стороне SIMO (а), MISO (б), MIMO (в)**

нескольких передающих антенн, складываются в приемной антенне, что дает увеличение мощности принимаемого сигнала.

Однако применение технологий SIMO и MISO будет эффективно только в некоторых пределах, а именно, пока увеличение числа антенн будет снижать влияние шума на пропускную способность канала. Когда же основным фактором, влияющим на пропускную способность канала, станет ширина полосы пропускания, наступит режим насыщения, т.е. увеличение числа антенн на приемном или передающем конце не приведет к увеличению пропускной способности канала.

От этого недостатка свободна третья модификация многоантенных систем, соответствующая термину MIMO (рис. 1,в). Каждый поток данных распространяется по своему пути. В зависимости от пути распространения сигнала потоки могут приходиться на приемник с разным уровнем мощности сигнала и разной задержкой. Принято пользоваться обозначением "M×N", где M – число потоков, формируемых для передачи, а N – число потоков, формируемых при приеме. Максимальное число потоков предусмотренных стандартом

равно 8. В настоящее время используются все три многоантенные технологии. В табл. 2 приведены теоретически рассчитанные максимальные скорости передачи данных при различном количестве антенн [3].

При использовании канала с шириной полосы пропускания 160 МГц максимальная скорость передачи может составить 6933.3 Мбит/с.

4. Возможность использования модуляции 256-QAM и скоростей кодирования 3/4 и 5/6.

5. Изменение диаграммы направленности методами фазированной антенной решетки.

6. Использование способа кодирования STBC (Space-Time Block Coding – блочное пространственно-временное кодирование), которое улучшает надежность приема данных. Упрощенно принцип блочного кодирования заключается в разбиении потока данных на блоки и ретрансляции блока в различные временные интервалы. Таким образом, соблюдается принцип многократной посылки данных и улучшается помехоустойчивость схемы MIMO как таковой. Однако энергетического выигрыша кодирования по помехоустойчивости блочные коды не дают.

7. Использование метода SGI (Short Guard Interval – короткого защитного интервала) – задержки между передаваемыми символами для предотвращения интерференции между ними. Стандартное значение задержки составляет 800 нс, короткое – 400нс. Использование метода SGI может увеличить пропускную способность на 10%.

8. Блочное подтверждение (Block Acknowledgements). Доставка нескольких пакетов может быть подтверждена на канальном уровне одним блоком. Это приводит к уменьшению

**Таблица 2. Теоретически рассчитанные максимальные скорости передачи данных в системах MIMO**

Ширина полосы пропускания канала	Количество антенн передача/прием	Тип модуляции и кодирования	Типовое применение	Пропускная способность
40 МГц	1×1	256-QAM 5/6, короткий защитный интервал	Смартфоны	200 Мбит/с
40 МГц	3×3		Ноутбуки	600 Мбит/с
80 МГц	1×1		Смартфоны, планшетные ПК	433 Мбит/с
80 МГц	2×2		Ноутбуки, планшетные ПК	867 Мбит/с
80 МГц	3×3		Ноутбуки	1.3 Гбит/с
80 МГц	3×3			

количества посланных фреймов подтверждения.

При подключении клиента к точке доступа производится согласование параметров подключения. Наборы параметров подключения индексированы и выражаются простым числом MCS (Modulation and Coding Scheme – вид модуляции и схемы кодирования). В стандарте 802.11ac принято 9 основных индексов модуляции [3]. Первые 7 индексов MCS0...MCS7 эквивалентны таким же индексам в стандарте 802.11n и обеспечивают максимальную скорость передачи информации 65 Мбит/с при длинном защитном интервале и – 72.2 Мбит/с при коротком интервале в канале шириной 20 МГц. Индексы MCS8 и 9 введены для более современных устройств и обеспечивают максимальную скорость передачи 86.7 МГц (длинный защитный интервал) и 96.3 МГц (короткий защитный интервал). При увеличении ширины канала и изменении числа антенн скорость передачи данных увеличивается.

Так же, как и в стандарте 802.11n регламентируется три режима работы точки доступа для устройств поддерживающих только предыдущие версии стандарта:

High Throughput (HT) или Greenfield Mode – режим с высокой пропускной способностью, в котором могут работать только точки доступа (клиенты), поддерживающие стандарт 802.11n.

Non-HT (Legacy) Mode – наследуемый режим, все фреймы, отправленные точкой доступа, сформированы в соответствии со спецификацией стандартов 802.11b/g (допустимая ширина полосы пропускания канала связи только 20 МГц).

HT Mixed Mode – смешанный режим, при котором используются преимущества режима с высокой пропускной способностью вместе с механизмом, реализующим возможность работы с оборудованием, соответствующим стандартам 802.11b/g. Как минус – для клиентов 802.11n пропускная способность ниже чем в HT режиме. Механизм совместной работы заключается в том, что на канальном уровне устройства 802.11n передают фрейм с преамбулой старого формата, следующей за преамбулой формата 802.11n. Преамбула старого формата позволяет клиентам протоколов 802.11b/g передавать и принимать данные от

точки доступа.

Для понимания процесса передачи данных в WiFi сетях надо ознакомиться с механизмом обработки коллизий.

В беспроводных сетях стандарта IEEE 802.11 для обнаружения коллизий используется механизм CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance) – множественный доступ с контролем несущей частоты и исключением коллизий. В WiFi сети передача данных осуществляется в полудуплексном режиме, все участники передают и принимают данные в одном канале. Таким образом, для исключения коллизий передача осуществляется только тогда, когда отправитель уверен в том, что канал свободен. Каждый фрейм должен быть подтвержден, если подтверждения не было, то считается, что произошла коллизия и фрейм передается через некоторое время повторно. Ситуация осложняется тем, что может быть ситуация "скрытого узла", когда два клиента подключены к одной точке доступа, но при этом не знают о существовании друг друга (сигнал от одного клиента не доходит до другого, но достигает точки доступа). Для устранения проблемы применяется следующий алгоритм. Клиент перед передачей данных посылает точке доступа пакет RTS (Ready-to-send), который содержит значение времени занятия канала. Точка доступа отвечает CTS (Clear-to-send). Все другие участники сети, получив пакет CTS, должны воздержаться от передачи данных на указанное в нем время.

Таким образом, если в сети одновременно работает несколько передатчиков, это может значительно снизить скорость передачи данных. Если оборудование использует 2x2 потока MIMO, то для осуществления приема/передачи используется почти весь диапазон 2.4 ГГц. Естественно все соседние точки доступа будут оказывать негативное влияние на скорость передачи.

Увеличение пропускной способности и соответственно скорости передачи информации в стандарте IEEE 802.11ac достигается путем:

- увеличения полосы пропускания каналов до 80 и 160 МГц, что позволяет удвоить/учетверить скорость передачи по сравнению со стандартом 802.11n
- увеличения максимального числа потоков (Spatial Streams) до 8, что позволяет дополни-

тельно удвоить скорость передачи информации

- использования модуляции 256-QAM со скоростью 3/4 и 5/6 также позволяет увеличить скорость передачи

- использование многопользовательского MIMO (MU-MIMO – Multi-user MIMO) доступа и алгоритма STA (Spanning Tree Algorithm – алгоритм, покрывающий или связывающий дерево сети) при работе с одной или несколькими антеннами позволяет передавать или принимать одновременно несколько независимых потоков данных

- использования множественного доступа с пространственным разделением каналов (SDMA – Space Division Multiple Access), при котором потоки разделены не по частоте, а в пространстве, аналогично методу MIMO в стандарте 802.11n

- использования метода нисходящего (downlink) MU-MIMO (одно передающее устройство, несколько приемных устройств) в качестве дополнительного.

Теоретически все эти методы позволяют увеличить скорость передачи информации до 4.8 Гбит/с, что в 8 раз превышает теоретический предел стандарта 802.11n. На практике такая скорость недостижима по нескольким причинам.

Новые каналы не вписываются в диапазон 2.4 ГГц, поэтому для достижения высокой скорости устройства стандарта 802.11ac должны работать в диапазоне 5 ГГц. Но при работе в этом диапазоне необходимо учитывать некоторые ограничения. В Европе без проблем и конфликтов с другим оборудованием связи можно работать только на первых четырех каналах (36/40/44/48 в диапазоне 5.15...5.35 ГГц), а на остальных каналах (5.725...5.825 ГГц) необходимо включать режим DFS/TPC<sup>1</sup> (сосуществование с радаром), что исключает возможность построения надежной сети. В полосе 5.15...5.35 ГГц помещается только один канал 802.11ac с полосой пропускания 80 МГц. Следовательно, скорость передачи следует уменьшить в два раза.

Использование 8 пространственных потоков (Spatial Streams) требует использования приемников и передатчиков с 8 антеннами в каждом. В мобильных устройствах, скорее всего, будет использоваться схема MIMO не более 4×4 из-за ограниченных размеров корпуса и необходимости экономить электроэнергию. А это приведет к уменьшению скорости еще в два раза. В итоге теоретически скорость передачи может составить 2.4 Гбит/с.

Кроме увеличения скорости передачи информации стандарт 802.11ac предлагает два ключевых улучшения:

1. Возможность динамически менять диаграмму направленности антенн (Beamforming), что реально для антенной решетки из 8 элементов. В идеале это значит, что зона покрытия точки доступа оптимально подстраивается под текущее расположение клиентов. Beamforming является необязательной частью стандарта 802.11n и поэтому не является новинкой. Этот режим вводится для достижения максимального эффекта при использовании метода MU-MIMO<sup>2</sup>.

2. Использование MU-MIMO дает возможность полностью задействовать канал связи и обеспечить параллельную работу нескольких клиентов. В существующих сетях WiFi связь осуществляется в полудуплексном режиме. Пока один клиент передает данные, остальные могут только принимать сигнал. Пакеты передаются последовательно – в один момент времени передается один пакет.

Рассмотрим пример. Если максимальная скорость передачи информации в стандарте 802.11n равна 300 Мбит/с и осуществляется передача от одного клиента со скоростью 2 Мбит/с, то используется всего 1/150 часть канала. Если в то же самое время другой клиент захочет передать сообщение, то сделать это невозможно и, следовательно, свободные ресурсы канала остаются неиспользованными. В сетях с большим количеством “небыстрых” клиентов (т.е. корпоративных) эффект от потенциально высокой скорости, доступной в стандарте 802.11n, крайне мал.

<sup>1</sup> Расширенное управление спектром и мощностью излучения. Режим DFS позволяет гарантированно исключить помехи от РЛС в точке доступа и уменьшить помехи от спутников. Режим TPC обеспечивает управление средней мощностью, позволяя максимально уменьшить влияние помех от спутников.

<sup>2</sup> В отличие от 802.11n, в стандарте 802.11ac “Beamforming” реализуется значительно проще. В нем используется лишь один метод, который называется “измерение пустыми пакетами” [null data packet (NDP) sounding].

Много факторов влияет на то, как сформировать поток в определенном направлении. “Beamforming” позволяет устройствам с обеих сторон работать максимально эффективно благодаря использованию тех каналов, в которых передача данных будет наилучшей, и исключению путей и каналов с низкой скоростью или качеством передачи.

Канальное измерение состоит из трех основных шагов [4]:

1. Передатчик начинает процесс передачей кадра объявления NDP, который используется для того, чтобы занять канал и идентифицировать приемники, поддерживающие “Beamforming”. Приемники пришлют ответ, тогда как другие устройства просто будут откладывать доступ к каналу до того времени, пока процесс измерения не закончится.

2. Передатчик присылает пакет NDP. Данные, содержащиеся в пакете NDP, позволяют приемнику анализировать тестовые последовательности OFDM для расчетов матрицы управления.

3. Приемник анализирует тестовую последовательность и рассчитывает матрицу-ответ, которую передатчик использует для расчетов матрицы управления.

4. Передатчик получает матрицу-ответ, рассчитывает матрицу управления и посылает сигналы с соответствующей энергией в соответствующих направлениях.

Поскольку матрица управления может быть довольно большой и сложной, ведь она представляет связи между всеми передатчиками и приемниками, то приемники рассчитывают матрицу-ответ и сжимают ее, чтобы она могла быть представлена меньшим кадром. Сжатие матрицы заключается в том, чтобы передать набор данных для воспроизведения матрицы вместо передачи самой матрицы. Чтобы рассчитать матрицу-ответ, приемник выполняет следующие шаги:

1. После получения пакета NDP каждая поднесущая OFDM обрабатывается независимо с помощью своей матрицы, которая описывает параметры поднесущей. Данные матрицы формируются на основании мощности сигнала в точке приема и сдвига фаз между сигналами каждой пары антенн.

2. Матрица обратной связи (ответ) формируется путем преобразования матрицы с помощью операции, носящей название поворот Гивенса, результаты которой зависят от параметров, называемых “углами”.

3. Вместо передачи полной матрицы обратной связи “Beamformer” вычисляет “углы” на основе матрицы поворота. В стандарт 802.11ac указывается порядок, в котором эти “углы” передаются так, что “Beamformer” может получить длинную строку битов и соответствующим образом выделить каждый “угол”.

4. Для получения информации о работе канала на всех поднесущих OFDM необходим только один набор “углов”.

5. Передатчик принимает матрицу-ответ и рассчитывает матрицу управления.

Структура кадра объявления пакета NDP для одного пользователя приведена на рис. 2, а NDP-кадра – на рис. 3.

На рис. 3 приняты следующие обозначения:

- L-STF (Legacy Short Training Field) – короткий тестовый OFDM-символ, модуляция BPSK

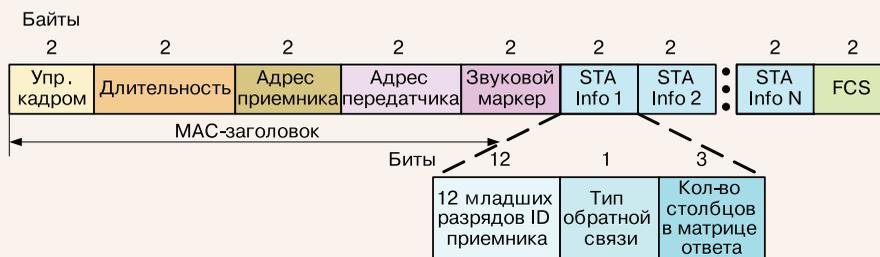


Рис. 2. Кадр объявления пакета NDP для одного пользователя

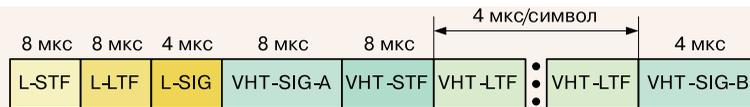


Рис. 3. Структура NDP-кадра

- L-LTF (Legacy Long Training Field) – длинный тестовый OFDM-символ
- L-SIG (Legacy Signal Field) – передача информации о скорости и продолжительности. Он состоит из одного OFDM- символа
- VHT-STF<sup>3</sup> (Very High Throughput) – используется для автоматического регулирования усиления в канале передачи MIMO
- VHT-LTF<sup>3</sup> – длинные тестовые последовательности MIMO каналов для приемника
- VHT-SIG-B<sup>3</sup> – информацию о размере данных, модуляции и схеме кодирования.
- FCS – Frame Check Sequence или CRC (контрольная сумма передаваемого пакета).

<sup>3</sup> Эти части кадра предусмотрены для совместимости с предыдущими форматами.

Формирование диаграммы направленности антенны с помощью технологии "Beamforming" увеличивает скорость передачи в беспроводных сетях на средних расстояниях между точкой доступа и пользователем благодаря увеличению отношения сигнала/шум, что в свою очередь дает возможность использовать более эффективные методы модуляции.

На малых расстояниях мощность принимаемого сигнала достаточно высока, что обеспечивает большое отношение сигнал/шум и, соответственно, максимальную скорость передачи данных.

На больших расстояниях формирование диаграммы направленности не даст существенного выигрыша по сравнению с всенаправленной антенной, и скорость передачи данных будет идентична случаю, когда "Beamforming" не используется.

Эффективность использования технологии "Beamforming" иллюстрирует рис. 4. На рис. 4 расстояние от точки доступа до пользователя увеличивается вправо. Верхняя диаграмма показывает значения MCS при использовании ненаправленной антенны, а нижняя – при использовании технологии "Beamforming". Формирование диаграммы направленности позволяет увеличить отношение сигнал/шум на 2.5 дБ, что дает возможность использовать более высокие значения MCS (более высокому значению MCS соответствует более высокая скорость передачи данных) при сравнимых с первой диаграммой расстояниях.

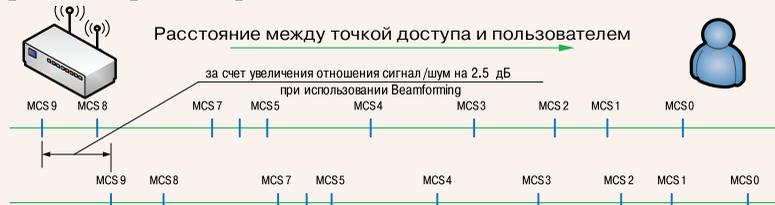


Рис. 4. Иллюстрация эффективности использования технологии "Beamforming"

Метод MU-MIMO в стандарте 802.11ac позволяет передавать данные от независимых источников по нескольким каналам параллельно. Для этого используется вариант реализации множественного доступа с пространственным разделением каналов (SDMA), при котором данные разным клиентам передаются с помощью разных пространственных потоков (Spatial Streams).

Использование технологии Downlink MIMO позволяет разбить поднесущие частоты OFDM на группы и динамически выделять каждому

клиенту нужное число поднесущих.

Как следует из сказанного выше, даже если ограничить скорость передачи в стандарте 802.11ac величиной 1 Гбит/с, что легко реализуется практически, то все равно применение стандарта 802.11ac дает существенные выгоды как для домашних (высокие скорости), так и для корпоративных сетей (эффективное использование таких скоростей в сетях с большим числом клиентов).

### Стандарт 802.11ad

Рассмотрим отличия стандарта 802.11ad

при работе в диапазоне 60 ГГц. Доступная полоса частот для этой технологии 7 ГГц, рекомендованное число каналов – 4 (каждый шириной по 2.16 ГГц с центральными частотами 58.32, 60.48, 62.64 и 64.8 ГГц). Расстояние, на котором осуществляется уверенная связь – от 1 до 10 м.

За счет расширения полосы частот увеличена скорость передачи информации, но сигналы диапазона 60 ГГц в значительной мере затухают при прохождении сквозь стены, поэтому данная технология может использоваться или в помещении, или вне его.

### Отличия стандартов 802.11ac и 802.11ad

Приведем основные отличия данных стандартов.

1. Мощность излучения различна в разных диапазонах. Ограничение мощности излучения для частоты 5 ГГц составляет 36 дБм, для 60 ГГц – 10 дБм. Это приводит к уменьшению расстояния уверенного приема в случае использования диапазона 60 ГГц (802.11ad) в сравнении с диапазоном 5 ГГц.

2. Сигналы на частоте 60 ГГц, в отличие от сигналов 5 ГГц, поглощаются кислородом, что отрицательно сказывается на дальности передачи сигналов.

3. В отличие от стандарта 802.11ac, где обеспечивается модуляция QAM-256, стандарт 802.11ad обеспечивает лишь модуляцию QAM-64, что связано с особенностями реализации передачи данных на частоте 60 ГГц.

Сравним реальные скорости передачи данных. Стандарт 802.11ac с двумя пространственными потоками, используя схему кодирования MCS 5 (64-QAM) и канал 80 МГц, обеспечивает скорость передачи данных 468 Мбит/с. В стандарте 802.11ad при использовании схемы кодирования MCS10 (16-QAM) обеспечивается скорость передачи 3,85 Гбит/с. Теоретически в стандарте 802.11ac можно достичь скорости передачи 7 Гбит/с, как и 802.11ad, но для этого необходимо использовать 8 пространственных потоков, тогда как устройства, имеющиеся сейчас на рынке, обеспечивают не более 3 пространственных потоков. Поэтому на практике стандарт 802.11ad обеспечивает намного более высокую скорость, чем 802.11ac.

На сегодняшний день устройства, реализующие возможности стандарта 802.11ad, не

выпускаются и появление их на рынке ожидается в начале 2015 г. Такие устройства можно будет реализовать на базе чипсета фирмы Wilocity – Wil6100. Чипсет содержит две микросхемы – Wil6110 (для работы с радиочастотами) и Wil6120 (управление доступом к среде) [5]. ИМС Wil6100 обеспечивает максимальную скорость передачи данных 4,6 Гбит/с.

На базе этого чипсета компания Qualcomm выпустила адаптер (рис. 5), устанавливаемый в слот PCI-Express, в котором используется ИМС Wil6120 для поддержки стандарта 802.11ad и Atheros AR9462 для поддержки



Рис. 5. Внешний вид адаптера Qualcomm Atheros QCA9005

стандартов 802.11a/b/g/n и Bluetooth.

Из краткого анализа возможностей нового стандарта IEEE 802.11ad можно сделать вывод о том, что спектр применений устройств, поддерживающих этот стандарт, будет расширяться в сравнении с устройствами стандарта 802.11n и 802.11ac.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Standartt 802.11ad-2012. / <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11ad-2012.pdf>.
2. Макаренко В. Особенности стандарта беспроводной связи IEEE 802.11ac (WiFi) // ЭКиС – Киев: VD MAIS, 2012, № 7.
3. 802.11ac in-depth. / [http://standards.ieee.org/news/2014/ieee\\_802\\_11ac\\_ballot.html](http://standards.ieee.org/news/2014/ieee_802_11ac_ballot.html).
4. 802.11ac: A Survival Guide. Chapter 4. Beamforming in 802.11ac. / <http://chimera.labs.oreilly.com/books/123400001739/ch04.html>.
5. <http://wilocity.com/resources/Wil6100-Brief.pdf>.