

УДК 519.7

# Ключевые особенности стандарта беспроводной широкополосной связи IEEE 802.11ax

Статья посвящена обзору ключевых особенностей нового стандарта беспроводной широкополосной связи. Рассмотрены основные отличия от предыдущих версий.

**Д.Г. ГАРЕЛИК,**  
аспирант  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

**Д.Н. СЕДУН,**  
бакалавр  
Белорусский национальный технический университет

**Ключевые слова:**

беспроводная широкополосная связь, Wi-Fi, IEEE 802.11.

**Введение.** История повсеместного использования технологий беспроводного широкополосного доступа Wi-Fi насчитывает уже более 20 лет. За весь период своего существования технологию постоянно совершенствовали, наращивали область действия, улучшали помехоустойчивость и защищенность и самое главное – максимальную скорость передачи данных.

Одной из ключевых проблем беспроводных широкополосных сетей является дефицит спектра. На момент, когда загруженность спектра в диапазоне частот 2,4 ГГц стала критичной, консорциум Wi-Fi Alliance начал движение в сторону освоения диапазона частот 5 ГГц. В стандарте IEEE 802.11ac поддержка диапазона 2,4 ГГц была отменена, однако в новой версии стандарта Wi-Fi (IEEE 802.11ax) данный диапазон вернули. Это решение было обусловлено оптимальными условиями распространения сигнала и желанием задействовать в новой версии стандарта все доступные частотные диапазоны.

В октябре 2019 года была официально анонсирована новая версия стандарта беспроводного широкополосного доступа – Wi-Fi (IEEE 802.11ax). Современные тенденции рынка на упрощение понимания особенностей продиктовали изменение подхода к именованию технологии. После всем привычных обозначений IEEE 802.11 a/b/g/n/ac, консорциум разработчиков ввел одиночные цифры,

призванные четко разграничивать различные поколения стандарта.

В качестве примера можно привести техническое описание технологий беспроводной широкополосной связи, поддерживаемых современным смартфоном, в котором по устоявшейся традиции указывают только версию стандарта связи (IEEE 802.11 a/b/g/n/ ac). В дальнейшем совпадение поколений технологии у взаимодействующих устройств обеспечит им функционирование на максимально доступной скорости передачи данных без использования режима обратной совместимости.

Обозначение стандарта до 2019 г.	Обозначение стандарта после 2019 г.
IEEE 802.11ax	Wi-Fi 6
IEEE 802.11ac	Wi-Fi 5
IEEE 802.11an	Wi-Fi 4



Рисунок 2 – Взаимосвязь обозначений технологии Wi-Fi

**Ключевые особенности стандарта IEEE 802.11ax.** Новый стандарт беспроводного широкополосного доступа пополнился дополнительными функциями, помимо увеличения общей производительности и стабильности, которые выгодно отличают его от предыдущей версии. Из нововведений можно отдельно выделить:

**1. Полная поддержка работы в частотных диапазонах одновременно (2,4 и 5 ГГц),** что позволяет масштабно расширить число различных сценариев работы с пользовательскими устройствами, в том числе и устройствами «интернета вещей». Данные

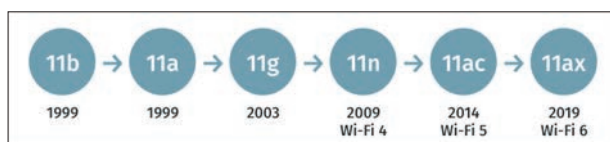


Рисунок 1 – Этапы развития технологии Wi-Fi

преимущества будут реализованы в полной мере только с течением времени, когда будут вытеснены с рынка устройства, использующие технологию предыдущего поколения.

**2. Поддержка OFDMA.** Orthogonal frequency-division multiple access – множественный доступ с ортогональным частотным разделением. Множественный доступ обеспечивается за счет назначения подгруппы субносителей для отдельных потоков данных, что позволяет обеспечить синхронную передачу нескольких отдельных потоков данных. OFDMA повышает устойчивость OFDM к затуханию сигнала и помехам, но при этом отдельные потоки данных могут использоваться для параллельной связи со множественными устройствами либо для резервирования, что в совокупности параметров позволяет повысить надежность и устойчивость данной системы, а также позволит синхронно транслировать данные сразу нескольким клиентам с усредненной скоростью, в случае если клиентские устройства поддерживают технологию Wi-Fi 6. На практике это реализуется разделением частотного канала на поднесущие шириной в 78 кГц. Передача осуществляется на каналах, которые сформированы из определенных поднесущих, кратных 26.

**3. Уплотнение потока информации.** Помимо модуляции 256-QAM, наиболее быстрой из стандарта IEEE 802.11ac, новый стандарт поддерживает 1024-QAM (в случае использования специализированных устройств вплоть до 2048-QAM), что дает возможность увеличить количество бит передаваемой информации в перерасчете на 1 Гц используемого частотного диапазона. Это дает на практике прирост скорости передачи информации на 25 % по сравнению с предыдущей версией стандарта в том случае, если приемник клиентского устройства позволяет применить эту модуляцию.

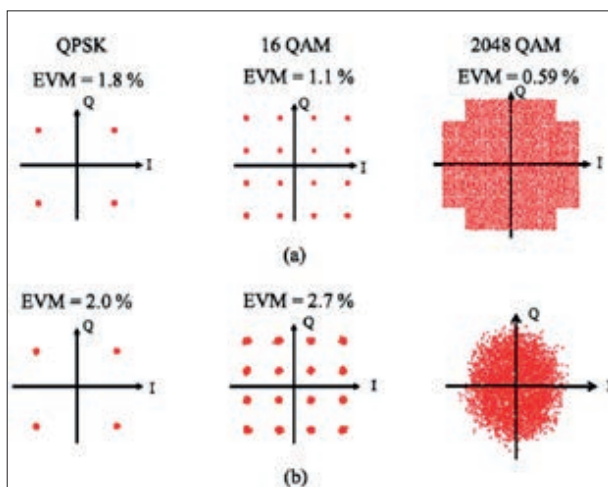


Рисунок 3 – Сравнение плотности и величины вектора ошибки модуляции различных созвездий

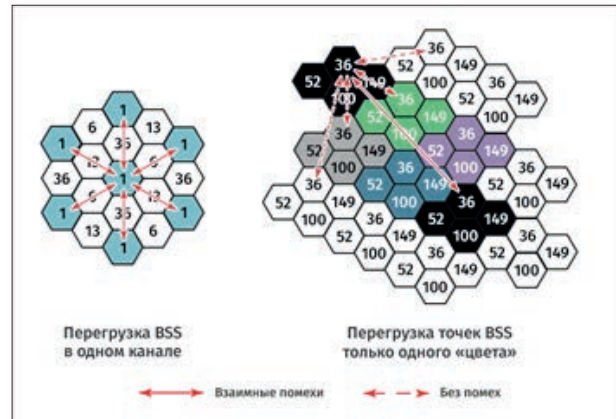


Рисунок 4 – Механизм «маркировки» пакетов данных в частотных каналах

**4. Симбиоз технологии MU-MIMO и OFDMA** позволяет одновременно транслировать данные с использованием различных поднесущих частот сразу 8 клиентам, что в два раза выше максимальной возможности технологии предыдущего поколения. Благодаря совместному использованию данных технологий, возможен гипотетический максимум скорости передачи в многопользовательской сети до 11 Гбит/с. Однако максимальная скорость достижима только в случае стационарных устройств, так как при такой нагрузке устройства должны обладать достаточным питанием и охлаждением.

**5. Режим сна и пробуждения по расписанию – Target Wake Time.** Данное нововведение оптимизирует использование радиочастотного ресурса за счет выключения устройства в определенный промежуток времени, когда эксплуатация его не подразумевается. Так же это позволяет широко использовать различные устройства «интернета вещей», которые по своей специфике передают данные с периодичностью несколько раз в минуту.

**6. Оптимизация доступа к среде передачи данных.** В основе стандарта беспроводной передачи данных IEEE 802.11 лежит механизм проверки доступа к среде передачи – CSMA/CA (Carrier sensing multiple access with collision avoidance), который перед передачей устройством какой-либо информации сканирует среду, если она занята, ожидает своей очереди на передачу. В предыдущих поколениях стандарта данный механизм не имел возможности опознавания «свой – чужой», в случае обнаружения передачи сигнала в среде ожидал свободного временного слота. В новом стандарте Wi-Fi 6 появился механизм маркировки пакетов в одних и тех же частотных каналах, используемых разными устройствами – BSS coloring. При обнаружении устройством пакета с «чужим» кодом устройство игнорирует его. Одной из особенностей данного



механизма, направленной на облегчение определения «своего» или «чужого» пакета данных, становятся автоматическое регулирование порогов обнаружения и обновление механизма фокусировки передачи данных в направлении клиентского устройства.

**7. Пространственное разделение клиентских устройств** в новой версии стандарта существенно доработано. Теперь технология позволяет сформировать отдельный луч (технология Beam forming) для клиентского устройства с пакетами, предназначенными только для него. В предыдущей версии стандарта данная опция могла функционировать только в случае передачи от устройства к клиенту, но в новой версии это осуществимо в обе стороны, частотное планирование происходит на стороне устройства.

**8. Роуминг клиентских устройств** между точками доступа в новой версии стандарта так же переработан, оптимизированы механизмы, позволяющие взаимодействовать точкам доступа без взаимного влияния. Для реализации бесшовного перемещения клиента по всей области доступа устройства

регламентированы высокоуровневые системы балансировки нагрузки и распределения пользователей между точками доступа в местах повышенного скопления потребителей. В данном случае для бесперебойной передачи данных в момент переключения клиентского устройства пакеты для него буферизуются и отправляются на новую точку доступа, к которой клиент присоединится, после выхода из области уверенного приема предыдущей точки.

**Выводы.** Технология беспроводной широкополосной передачи данных прошла длинный путь развития, с каждым новым поколением вносились существенные изменения, чтобы соответствовать современным требованиям. В новой версии стандарта IEEE 802.11 было добавлено и оптимизировано большое количество функций, что в перспективе позволит обеспечить быстрый и качественный доступ к сетям всем клиентским устройствам, в том числе устройствам «интернета вещей». Дальнейшее развитие данной технологии будет направлено на увеличение скорости и, в перспективе, на полный переход большинства устройств на беспроводное соединение для передачи данных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gerardus, Blokdyk. 802.11ax A Complete Guide – 2020 Edition / Blokdyk Gerardus. – 2020: Art of Service, 300 с. – Текст: непосредственный.
2. What Is 802.11ax? – Текст: электронный // cisco.com: [сайт]. – Режим доступа: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/what-is-802-11ax.html>. – Дата доступа: 28.01.2021.
3. Jim, Geier. Designing and Deploying 802.11 Wireless Networks / Geier Jim. – 2-е издание. – 2019: Art of Service, 455 с. – Текст: непосредственный.

*Article provides an overview of the key features of the new wireless broadband standard. The main differences from the previous versions of the standard are considered.*

*Keywords:* Wireless broadband, Wi-Fi, IEEE 802.11.

*Получено 05.02.21.*