

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ WI-FI 7

NEW WIRELESS EXPERIENCES WITH WI-FI 7

В статье приведена краткая информация о потенциальных возможностях стандарта IEEE 802.11be (Wi-Fi 7). Приведена краткая информация о каждом из новшеств, предлагаемых в Wi-Fi 7. Приведены примеры устройств, реализующих этот стандарт.

В. Макаренко

Abstract - The article provides brief information about the potential capabilities of the IEEE 802.11be (Wi-Fi 7) standard. Brief information about each of the innovations offered in Wi-Fi 7 is given. Examples of devices that implement this standard are given.

V. Makarenko

Новые приложения и услуги, связанные с передачей видеосигналов высокого разрешения, виртуальной и дополненной реальностью, играми, удаленным офисом и облачными вычислениями, а также необходимостью поддержки большого количества пользователей с интенсивным трафиком в беспроводных сетях требуют высокой производительности беспроводной сети.

Типичные примеры таких приложений включают передачу видео 4K и 8K (со скоростью передачи данных до 20 Гбит/с), онлайн-игры (требующие задержки менее 5 мс), онлайн-видеоконференцсвязь и облачные вычисления. Для реализации таких высоких требований скорости передачи данных Wi-Fi 6 (802.11ax) недостаточно.

В 2019 году подгруппа BE (TGbe) рабочей группы 802.11 комитета по стандартизации локальных и городских сетей начала разработку стандарта Wi-Fi следующего поколения – IEEE 802.11be (Wi-Fi 7) [1].

На первый взгляд, новая поправка IEEE 802.11be к стандарту Wi-Fi представляет собой не что иное, как модернизация 802.11ax, позволяющую удвоить пропускную способность и увеличить количество пространственных потоков, которые вместе должны обеспечивать скорость передачи данных до 40 Гбит/с. Однако, в стандарте 802.11be вводится еще много различных изменений.

Важным направлением разработки Wi-Fi 7 является поддержка приложений реального времени (игры, виртуальная и дополненная реальность, управление роботами). Примечательно, что хотя Wi-Fi по-особому обслуживает аудио- и видеотрафик, долгое время считалось, что обеспечение на уровне стандарта гарантированно малых задержек (единиц миллисекунд), также известное как Time-Sensitive Networking, в сетях Wi-Fi принципиально невозмож-

но.

Важным вопросом, связанным с Wi-Fi 7, является его взаимодействие с сотовыми сетями 4G, 5G) и 3GPP (LTE-LAA/NR-U), работающими в тех же нелицензируемых диапазонах частот. Для изучения проблем, связанных с сосуществованием Wi-Fi и сотовых сетей, IEEE 802.11 создал комитет Coexisting Standing Committee (Coex SC – постоянный комитет по сосуществованию).

В настоящее время Wi-Fi 6 широко используется на рынке с использованием диапазонов частот 2.4, 5.2 и 5.6 ГГц (рис. 1). В некоторых новых устройствах уже используется диапазон 6 ГГц (Wi-Fi 6E), который позволяет повысить скорость передачи информации.

Полосы частот 2,4 ГГц и 5 ГГц представляют собой нелицензированные диапазоны, которые ограничены и перегружены. При запуске новых приложений (таких как VR/AR) существующие сети Wi-Fi неизбежно сталкиваются с низким качеством обслуживания (QoS). Этими факторами и вызвано появление нового диапазона.

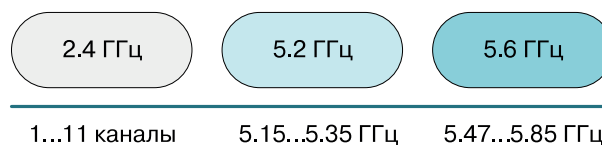


Рис. 1. Диапазоны частот, используемые в Wi-Fi 6

В дополнение к основному варианту Wi-Fi 6 существуют и несколько его модификаций Wi-Fi HaLow (802.11ah) [1] предназначенный для использования в системах Интернета вещей, и Wi-Fi (802.11ad/ay), обеспечивающий скорость передачи данных 275 Гбит/с на малые расстояния. Эволюция стандартов Wi-Fi детально описана в [1].

Рассмотрим кратко усовершенствования в стандарте 802.11be

Усовершенствования протокола физического уровня (PHY – Physical Layer) для технологии EHT (Extremely High Throughput Full Duplex – чрезвычайно высокая пропускная способность в полнодуплексном режиме)

Обеспечение расширенной полосы пропускания до 240 и 320 МГц

Из-за ограниченности и переполненности спектров в нелицензионных диапазонах 2.4 и 5 ГГц, существующие сети WLAN 802.11 (например, IEEE 802.11ax) неспособны обеспечить высокое качество обслуживания (QoS) при использовании таких приложений как VR/AR.

Чтобы обеспечить пропускную способность не менее 30 Гбит/с, вводятся непрерывные полосы пропускания 240 МГц, несмежные полосы 160+80 МГц, смежные 320 МГц и несмежные 160+160 МГц [2].

Поддержка назначения нескольких RU одному пользователю (SU)

В IEEE 802.11ax каждому пользователю назначается только определенный блок ресурсов (RU – Resource Unit) для передачи или приема кадров, что значительно ограничивает гибкость планирования использования ресурсов спектра. Для повышения эффективности использования спектра, одному пользователю разрешено назначение нескольких RU – Multi-RU.

Для повышения максимальной скорости передачи данных используется модуляция 4096-QAM

В стандарте 802.11ax доступна модуляция высшего порядка 1024-QAM, при использовании которой модулированный символ переносит 10 бит информации. При использовании 4096-QAM каждый символ переносит 12 бит информации. Следовательно, при одинаковой скорости кодирования EHT может увеличить скорость передачи данных на 20% по сравнению с 1024-QAM.

Предоставление эффективных форматов преамбулы и перфорации

До EHT использовались разные форматы преамбулы в каждом поколении стандартов WLAN, которые могут включать такие функции как: синхронизацию, автоматическое управление усилением, временная и частотная коррекция, оценка канала, автоматическое определение версии данных физического протокола, способность различать единицы в модуле данных о протоколе физического уровня

(PPDU – Presentation Protocol Data Unit) и необходимую сигнализацию (например, выделение ресурсов) и т.д.

Преамбула EHT должна обеспечивать обратную совместимость и сосуществование с устаревшими PPDU, передаваемыми на частотах 2.4, 5 и 6 ГГц.

Расширение контроля доступа (MAC) для EHT

Многоканальный режим работы с резко увеличенной пропускной способностью. Станция (STA) может передавать кадры одного и того же идентификатора трафика (TID) или разных TID в нескольких диапазонах одновременно или в разное время.

Увеличение числа пространственных потоков и улучшение MIMO

Чтобы удовлетворить растущий спрос на трафик, генерируемый с ростом числа устройств Wi-Fi, число антенн точек доступа в IEEE 802.11ax [2] достигло 8. Точка доступа с 8 антеннами может одновременно обслуживать до 8 пользователей для восходящей (UL) и нисходящей линии связи (DL) при использовании технологии MU-MIMO.

Для расширения возможностей пространственного мультиплексирования точки доступа, EHT рекомендует максимальное количество пространственных потоков 16, чтобы получить более высокую пропускную способность сети. Однако увеличение количества пространственных потоков сопровождается сопутствующим увеличением времени для получения CSI (информации о состоянии канала). С 16 пространственными потоками в EHT, повторно используя тот же метод зондирования канала, указанный в текущем стандарте IEEE 802.11ax, приведет к огромным потерям времени для обратной связи CSI. По этой причине существующие схемы явной и неявной обратной связи заменяются на новые.

Расширенный механизм адаптации и повторной передачи данных

Существующие системы IEEE 802.11 используют повторную передачу данных (MPDU – MAC protocol data unit), чтобы гарантировать надежность передачи в беспроводных каналах связи, подверженным различным помехам. В автоматическом повторном запросе (ARQ) получатель просто отказывается от ошибочного MPDU прежде, чем получить повторно переданный MPDU.

Для выполнения требований более высокой надежности и более низкого времени ожидания в IEEE 802.11be вводится гибридный автоматический контроль за повторной передачей (HARQ – Hybrid Automatic Retransmission Control), для увеличения

вероятности правильной расшифровки пакетов данных.

В отличие от ARQ, в HARQ, приемник сохраняет неправильно расшифрованные пакеты и объединяет их с повторно переданным перед расшифровкой.

Для поддержки высокоскоростных видеоприложений и игр EHT вводит несколько технологий улучшения PHY, показанных на рис. 2, которые позволяют EHT достигнуть скорости передачи данных 30 Гбит/с.

Новый способ увеличения пропускной способности

На рис. 3 показаны полосы частот для диапазонов 2.4 и 5 ГГц и полосы частот для диапазона 5.925...7.125 ГГц.

Полоса пропускания 320 МГц в диапазоне 6 ГГц позволяет реализовать скорость передачи данных 30 Гбит/с. Полоса пропускания 320 МГц может быть реализована как смежными участками частотного спектра, так и состоящей из нескольких несмежных участков. Полоса частот 320 МГц может быть обеспечена двумя несмежными полосами по 160 МГц в диапазонах 5 и 6 ГГц.

Поддержка нескольких блоков ресурсов для одного пользователя (Multi-RU)

Используя метод доступа к каналу OFDMA – с разделением по времени и частоте (аналогичный тому, что используется в сетях 4G и 5G) – предоставляет новые возможности для оптимального распределения ресурсов. Однако в стандарте 802.11ax используются далеко не все возможности OFDMA. Например, он позволяет точке доступа выделять для клиентского устройства только один ресурсный блок заранее определенного размера. Во-вторых, он не поддерживает прямую передачу между клиентскими станциями. Эти факторы снижают эффективность использования спектра. Кроме того, это приводит к снижению производительности в сетях с большим числом абонентов и увеличивает задержку, что критично для приложений реального времени. В стандарте 802.11be эта проблема решена. Пользователь может получить доступ одновременно к 3 ресурсным блокам.

Конструкция преамбулы EHT

Подобно IEEE 802.11ax, для поддержки различных технологий и сценариев, EHT должен иметь новый формат преамбулы для возможности опреде-



Рис. 2. Основные улучшения на физическом уровне для высокой пропускной способности в полнодуплексном режиме

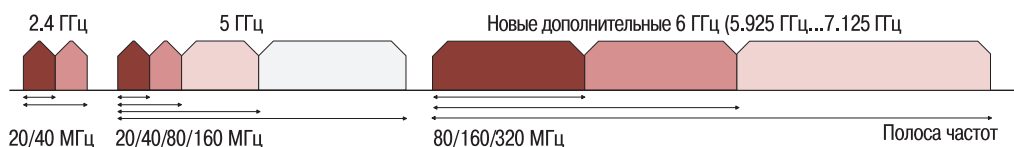


Рис. 3. Доступные полосы частот для диапазонов 2.4 и 5 ГГц в существующих стандартах 802.11 и новое расширение полосы частот в 802.11be

лять PPDU форматы, такие как EHT SU PPDU, EHT Trigger-based PPDU, EHT ER (расширенный диапазон) SU PPDU и EHT MU PPDU.

Как показано на рис. 4, поле EHT PPDU состоит из следующих частей:

- короткое тренировочное поле без HT (L-STF)
- устаревшее поле LTF (L-LTF)
- устаревшее поле SIG (L-SIG)
- повторное устаревшее поле SIGNAL (RL-SIG)
- универсальное поле SIG (U-SIG)
- поле EHT-SIG
- короткое обучающее поле EHT (EHT-STF)
- поле длинного обучения EHT (EHT-LTF)
- поле данных.

Чтобы сохранить обратную совместимость с устаревшими PPDU, работающие в диапазонах 2.4, 5 и 6 ГГц, поле устаревшей части, которое используется для обнаружения кадров, синхронизации и несущее необходимую информацию (например, о длине кадра), должно находиться в начале EHT PPDU. Для PPDU с полосой пропускания 160 МГц или меньше, устаревшая часть дублируется.

Схема модуляции высшего порядка

Применение модуляции 4096-QAM теоретически позволяет увеличить скорость передачи информации на 20%. Предварительные результаты моделирования [2] показали, что применение 4096-QAM выполнимо только в определенных конфигурациях, только при использовании нескольких антенн для приема и передачи.

В то же время, стоимость такой маленькой выгоды высока. Отношение сигнал/шум на стороне приемника должно быть не менее 40 дБ. Такое высокое значение SNR может быть достигнуто только при использовании нескольких антенн и работе с одним клиентом. Т.е. режим MU не может использоваться в этом случае.

Если для передачи нескольких потоков с использованием MIMO нужно иметь несколько антенн для отправителя и получателя, то в случае неортогонального доступа (NOMA) точка доступа может од-

новременно передавать данные двум получателям с одной антенны [1]. Различные варианты неортогонального доступа включены в последние спецификации 5G и предполагается их использование в 802.11be.

При использовании NOMA прирост производительности составляет 30-40%. Достоинствами этой технологии является её обратная совместимость: один из двух получателей может быть устаревшим устройством, не поддерживающим Wi-Fi 7. Вообще проблема обратной совместимости очень важна, так как в сети Wi-Fi могут одновременно работать устройства различных поколений.

Кроме того, для получения требуемого отношения сигнал/шум (SNR), а также надежности передачи данных, EHT должен поддерживать модуляцию с использованием двойной несущей (DCM – dual-carrier modulation).

Многоканальные операции

Одновременное использование диапазонов 2.4, 5 и 6 ГГц одна из особенностей технологии EHT, которая позволяет повысить эффективность использования ресурсов спектра.

Использование 16 пространственных потоков является привлекательной особенностью MIMO EHT. Растущее число пространственных потоков от текущих восьми в IEEE 802.11ax до шестнадцати может теоретически удвоить скорость передачи данных. Однако это приводит к сопутствующему увеличению времени на зондирование и обратную связь. Многократное использование существующих методов зондирования и механизмов обратной связи, определенных в IEEE 802.11ax не позволяют поддерживать 16 пространственных потоков.

Скоординированная работа точек доступа

Еще одним важным нововведением, является скоординированная работа точек доступа. Хотя многие поставщики имеют свои собственные централизованные контроллеры для корпоративных сетей Wi-Fi, возможности таких контроллеров были, как правило, ограничены настройкой долгосрочных

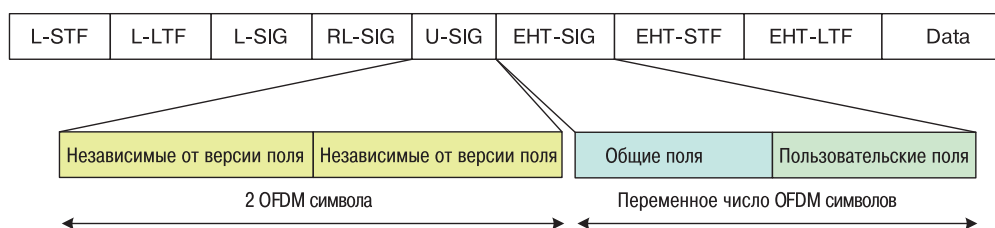


Рис. 4. Для обратной совместимости формат кадра EHT PPDU начинается с устаревшего поля

параметров и выбором канала. Комитет по стандартизации обсуждает более тесное сотрудничество между соседними точками доступа, которое включает в себя скоординированные планирование передачи данных, направленную передачу сигнала и распределенные системы MIMO. Некоторые из рассматриваемых подходов используют последовательное подавление помех (примерно то же, что и в NOMA).

Координация нескольких точек доступа направлена на оптимизацию выбора канала и регулировку нагрузки между точками доступа для достижения эффективного использования и сбалансированного распределения радиоресурсов.

Скоординированное планирование между несколькими точками доступа в Wi-Fi 7 включает согласованное планирование между ячейками во временной и частотной областях, координацию помех между ячейками и распределенный MIMO. Это снижает помехи между точками доступа и значительно улучшает использование ресурсов радиointерфейса.

Координация множества точек доступа может быть реализована различными способами, такими как скоординированный множественный доступ с ортогональным частотным разделением каналов (C-OFDMA), скоординированное пространственное повторное использование (CSR), скоординированное формирование диаграммы направленности (CBF) и совместная передача (JXT).

Стандарт 802.11be разрешит точкам доступа разных производителей координировать между собой расписание передач, чтобы снизить взаимную интерференцию.

Наглядно некоторые отличия Wi-Fi 6 и Wi-Fi 7 приведены на рис. 5.

Учитывая параметры Wi-Fi 7 можно определить круг задач, которые можно будет решить с его использованием:

- просмотр потокового видео с разрешением 4K/8K
- погружение в виртуальную (VR), аугментированную (AR) и расширенную реальность (XR)
- удалённую работу и онлайн-видеоконференции
- облачные и граничные вычисления
- облачные игры
- промышленный интернет вещей
- системы автоматизации "умного дома", "умного здания" и "умного города".

На сегодняшний день уже тестируются первые устройства Wi-Fi 7. Компания Intel совместно со своим партнёром Broadcom провела успешную демонстрацию технологии Wi-Fi 7, после чего заявила, что "будущее Wi-Fi уже здесь". При испытаниях опытных устройств была получена стабильная скорость передачи информации 5 Гбит/с.

Компания TP-Link представил роутеры с поддержкой стандарта Wi-Fi 7, не дожидаясь его принятия. Это первые в мире представленные официально роутеры с поддержкой новой версии стандарта Wi-Fi. Они появятся на рынке ориентировочно во втором квартале 2023 года.

Четырехдиапазонный роутер TP-Link Archer BE900 (рис. 6) имеет интересный дизайн. На фронтальной панели имеется небольшой сенсорный экран, который может использоваться для вывода разной информации, такой как время, погода или состояние сети. Над экраном есть пиксельная матрица, на которой могут выводиться пиктограммы или эмодзи. Заявленная пропускная способность модели — до 24 Гбит/с. В устройстве реализована

	Wi-Fi 6	Wi-Fi 7
Стандарт IEEE	802.11ax	802.11be
Максимальная скорость передачи	9.6 Гбит/с	30 Гбит/с
Диапазоны частот	2.4 ГГц, 5 ГГц, 6 ГГц (Wi-Fi 6E)	2.4 ГГц, 5 ГГц, 6 ГГц и 7 ГГц
Протокол безопасности	WPA3	WPA3
Ширина полосы канала связи	20, 40, 80, 160, 80+80 МГц	20, 40, 80, 160, 80+80, 240, 160+80, 320, 160+160 МГц
Тип модуляции	1024-QAM, OFDMA	4096-QAM, OFDMA
Число каналов приема/передачи	8 × 8 UL/DL, MU-MIMO	16 × 16 UL/DL, MU-MIMO

Рис. 5. Сравнение технологий Wi-Fi 6 и Wi-Fi 7

поддержка технологии OpenVPN. Набор интерфейсов включает четыре порта Ethernet 2,5 Гбит/с, два порта Ethernet 10 Гбит/с, USB 2.0 и USB 3.0. Ориентировочная стоимость 700 долларов.



Рис. 6. Четырехдиапазонный роутер TP-Link Archer BE900

Трехдиапазонный маршрутизатор TP-Link Archer GE800 (рис.7) позиционируется как игровая модель. Корпус маршрутизатора дополнен светодиодной подсветкой.

Пропускная способность — до 19 Гбит/с. Есть два порта Ethernet 10 Гбит/с, два — 2,5 Гбит/с и четыре — 1 Гбит/с.



Рис. 7. Маршрутизатор TP-Link Archer GE800

Самая доступная модель TP-Link Archer BE550 (рис. 8) обеспечивает скорость передачи в беспроводной сети до 9,3 Гбит/с. В конструкции имеются пять портов Ethernet 2,5 Гбит/с. В отличие от более продвинутых моделей, в BE550 нет экрана или подсветки.



Рис. 8. Маршрутизатор TP-Link Archer BE550

Основные параметры TP-Link Archer BE550, BE9300 (Wi-Fi 7):

- WAN – 1×2.5 Гбит/с
- LAN – 4×2.5 Гбит/с
- WLAN 802.11a/b/g/n/ac/ax/be (Wi-Fi 7)
- скорость передачи данных 574 Мбит/с (в полосе 2.4 ГГц), 2880 Мбит/с (5 ГГц), 5760 Мбит/с (6 ГГц)
- безопасность – шифрование 64/128 бит, WEP, WPA, WPA2, WPA3, WPS
- внутренняя антенна
- 1×USB-A 3.0
- поддержка IPv6, VPN (PPTP/L2TP), Mesh, Wi-Fi EasyMesh.

Кроме того, компания представила Mesh-систему Deco BE85 (рис. 9) с поддержкой Wi-Fi 7, которая обеспечивает скорость передачи данных до 22 Гбит/с и имеет два Ethernet-порта 10 Гбит/с. Предполагаемая стартовая цена комплекта – 999.99 долларов. Выпускаться будет еще две модели такой системы – стандартная Deco BE95 со скоростью передачи до 33 Гбит/с и Deco BE 65, со скоростью передачи до 11 Гбит/с.



Рис. 9. Mesh-система Deco BE85 (BE65)

Первые устройства с поддержкой Wi-Fi 7 для обычных пользователей ожидаются на рынке во второй половине 2023 года. При этом финальная версия стандарта сформируется не раньше 2024 года. Предварительно сказать о Wi-Fi 7 можно лишь то, что технология будет востребована среди пользователей, которые используют высокоскоростные приложения посредством беспроводных каналов связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Current Status and Directions of IEEE 802.11be, the Future Wi-Fi 7 / <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9090146>
2. IEEE 802.11be – Wi-Fi 7: New Challenges and Opportunities / <https://doi.org/10.1109/COMST.2020.3012715>
3. Standard for Information technology-- Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks-- Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment: Enhancements for Extremely High Throughput (EHT) / <https://standards.ieee.org/ieee/802.11be/7516/>
4. <https://geizhals.at/tp-link-archer-be550-a2848223.html>

ВСЕ РЕШЕНИЯ – ЗДЕСЬ
www.vdmais.ua

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

MW
MEAN WELL

RECOM

GAIA
CONVERTER
AUTHORIZED DISTRIBUTOR

CRANE
AEROSPACE &
ELECTRONICS

TE
connectivity

SIEMENS

PHOENIX
CONTACT
INSPIRING INNOVATIONS

EATON
Powering Business Worldwide

VD MAIS

ДИСТРИБЮЦИЯ
КОНТРАКТНОЕ
ПРОИЗВОДСТВО

Научно-производственная фирма VD MAIS – официальный дистрибьютор в Украине продукции ведущих мировых производителей электронных компонентов и систем, в том числе: SIEMENS, RECOM, TE CONNECTIVITY, MEAN WELL, PHOENIX CONTACT, GAIA CONVERTER, EATON, CRANE AEROSPACE ELECTRONICS та інших.

тел.: (044) 201-0202, info@vdmais.ua