

Особенности Wi-Fi 6

В статье описаны основные особенности стандарта Wi-Fi 6, или 802.11ax, которые обеспечивают более высокие скорость передачи и пропускную способность сети.

Владимир Новоселов

Введение

Wi-Fi 6 (802.11ax), основанный на стандарте 802.11ac, позволяет повысить скорость передачи данных и пропускную способность не только новых, но и уже существующих сетей при работе с приложениями нового поколения за счет увеличения эффективности, гибкости и обеспечения масштабируемости.

Ограничения Wi-Fi

Наиболее важными показателями работы Wi-Fi являются: полоса пропускания (BW), количество битов данных на поднесущей (SC) и количество пространственных каналов (SS). На рис. 1 сравниваются основные стандарты Wi-Fi: 802.11g (2003 г.), 802.11n (2009 г.) и 802.11ac (2013 и 2016 г., альтернативное название — Wi-Fi 5).

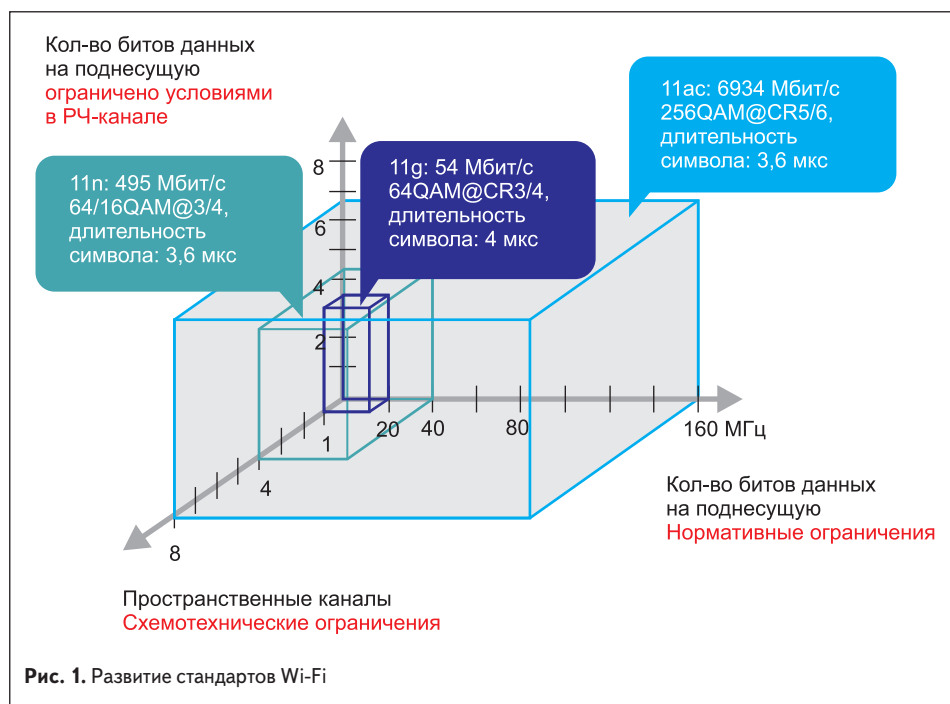
Вместе эти параметры определяют максимально доступную скорость передачи данных. Она равна произведению количества поднесущих на количество битов данных в символе и количество пространственных каналов, поделенное на длительность символа. При этом количество поднесущих зависит от полосы пропускания.

Количество битов данных в символе определяется схемами модуляции и кодирования. Длительность символа учитывает защитный интервал.

Устройства Wi-Fi оптимальны для бытовых приложений, небольших офисов и магазинов. При наличии достаточного количества точек доступа они также эффективны в отелях, терминалах аэропортов, офисах и сетях среднего размера. Недостатком является тот факт, что чем больше точек доступа, тем более загруженным становится эфир, что усиливает интерференцию. На рис. 1 перечислены ограничивающие факторы для каждого параметра. Так, полоса пропускания регулируется нормативными актами, а остальные параметры — техническими факторами: количество битов на поднесущую зависит от условий связи в РЧ-канале, а количество пространственных каналов определяется размерами устройства, поскольку требуется установить несколько антенн.

Повышение качества сети Wi-Fi

Для повышения качества связи по Wi-Fi необходимо воспользоваться одним из следующих способов или их комбинацией:



- Изменить или добавить частотные полосы.
 - Расширить каналы.
 - Использовать усовершенствованные схемы модуляции.
 - Использовать комплексные методы передачи.
 - Расположить поднесущие ближе друг к другу.
 - Изменить подходы к планированию и управлению доступом.
 - Увеличить защитные интервалы.
 - Использовать несколько приемных и передающих антенн (MIMO).
- Рассмотрим эти подходы подробнее.

Схемы модуляции

В настоящее время в сетях Wi-Fi применяется схема, основанная на множественном доступе к несущей с предотвращением коллизий (CSMA/CA) и предназначенная для сетей с ограниченным количеством абонентов.

Однако по мере увеличения количества абонентов длина пакета уменьшается, качество связи снижается из-за увеличения периода ожидания или простоя, поскольку передатчики детектируют постоянный трафик (рис. 2). Из этого рисунка видно, что при количестве станций больше 20 качество связи резко падает.

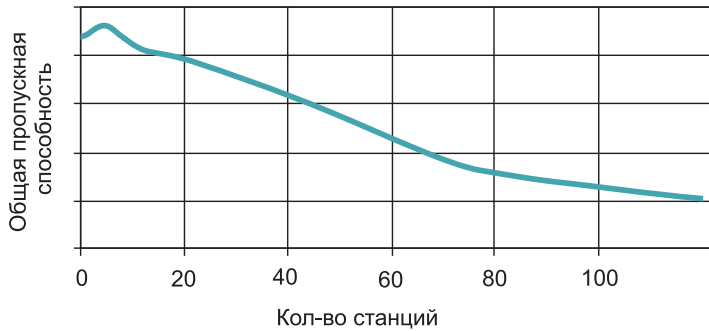


Рис. 2. Зависимость средней пропускной способности сети Wi-Fi от количества активных станций

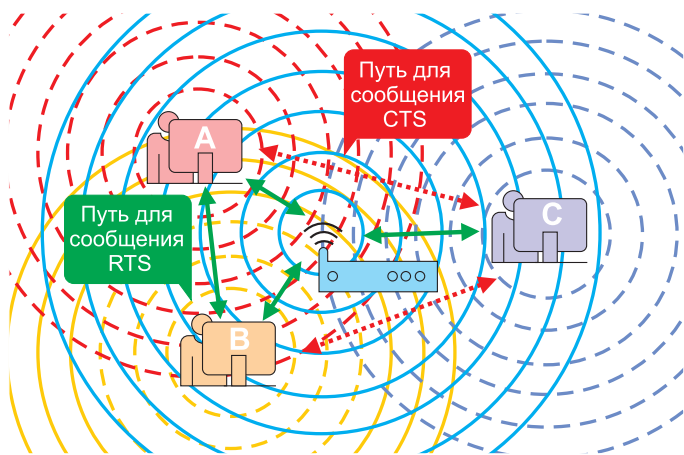


Рис. 3. Без координации скрытый узел создает интерференцию и может провоцировать потерю пакета. Узлы A, B скрыты от C, и наоборот

Управление доступом и планирование

Подход CSMA/CA предполагает предварительное прослушивание канала, затем передачу. Его можно использовать только в случае, когда абоненты осведомлены о присутствии друг друга. Однако может возникнуть проблема скрытого узла. Рассмотрим пример.

Пусть имеются три узла. A и B видят друг друга и точку доступа, C — скрыт: он видит только точку доступа (рис. 3).

Решением является использование координационной функции. Перед передачей устанавливается связь в два этапа (рис. 4): абонентское устройство запрашивает передачу (сообщение request-to-send, RTS) либо точка доступа вещает о наличии свободного канала (сообщение clear-to-send, CTS). Таким образом решается проблема со скрытыми узлами, однако при этом не обязательно повышается общая эффективность сети, поскольку функции управления требуют ресурсов и вносят задержки.

Защитные интервалы

В настоящее время защитные интервалы Wi-Fi очень коротки и не позволяют справиться с межсимвольной интерференцией, которая часто возникает в средах с несколькими трактами прохождения сигнала, когда его задержка велика.

Внутри помещения, как правило, задержка не превышает 0,5 мкс, а вне помещения она достигает 3 мкс. Этого достаточно для появления интерференции, поскольку длина символа составляет 3,2 мкс (рис. 5).

Одно из возможных решений — расширение защитного интервала при работе вне помещения. При этом увеличивается задержка сигнала.

MIMO

Применение нескольких приемных и передающих антенн (MIMO) дает хороший результат: матрица из четырех приемных и четырех передающих антенн (4x4) обеспечивает че-

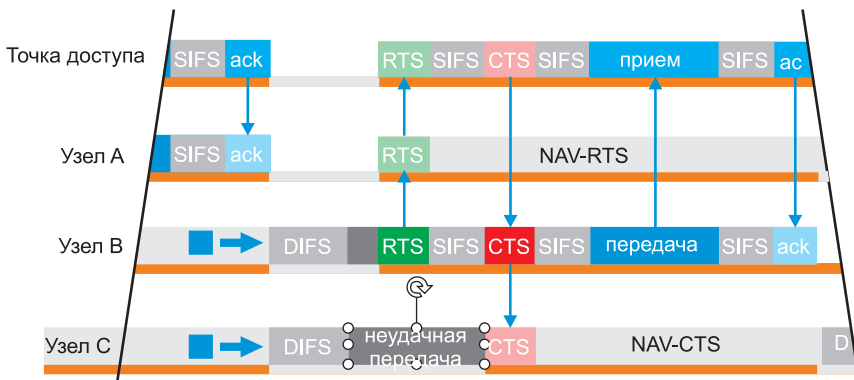


Рис. 4. Использование координационной функции DCS с сообщениями RTS/CTS для предотвращения коллизий, вызванных активностью скрытых узлов

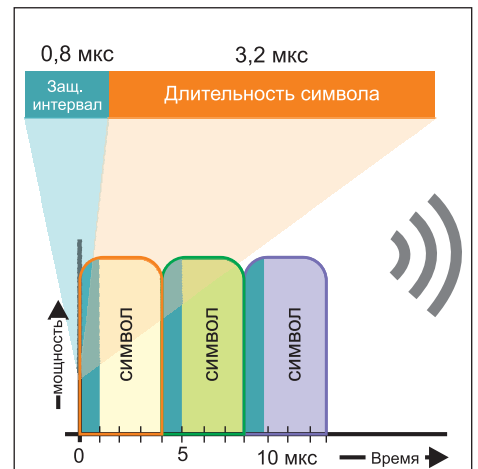


Рис. 5. Использование более широких интервалов позволяет ослабить межсимвольную интерференцию при работе вне помещений, когда сигнал имеет множество путей прохождения

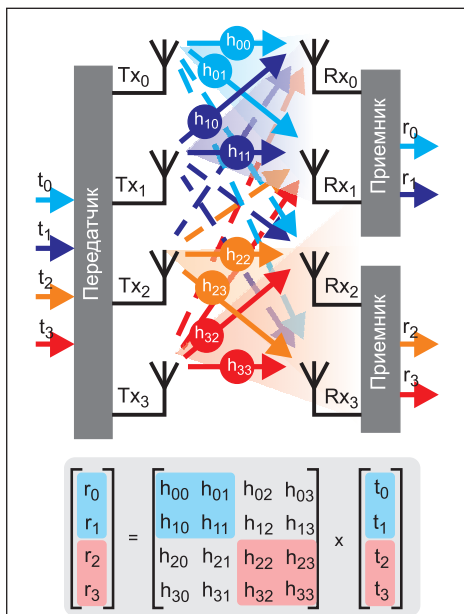


Рис. 6. Эта конфигурация MU-MIMO со схемой формирования луча позволяет удвоить эффективную скорость передачи данных

тырехкратное увеличение скорости передачи по сравнению с одиночным потоком. Однако на практике бывает сложно обеспечить такое количество антенн, особенно в компактных устройствах, например в смартфонах, в которых, как правило, встроены две антенны. При этом появляется возможность обратиться к многопользовательскому подходу (MU-MIMO), когда передатчик с четырьмя антеннами устанавливает соединения 2x2 с многопользовательскими устройствами, оснащенными двумя антеннами

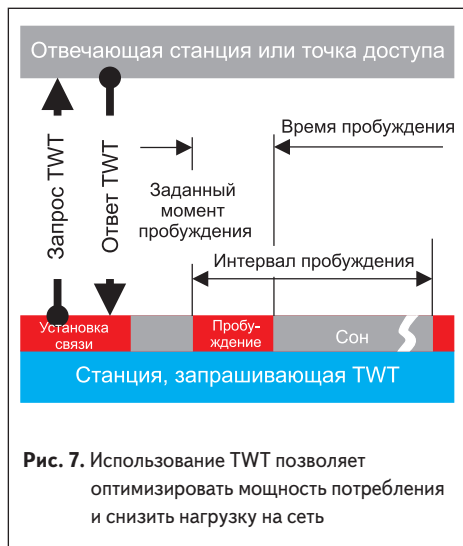


Рис. 7. Использование TWT позволяет оптимизировать мощность потребления и снизить нагрузку на сеть

(рис. 6). Необходимо четко разделить нисходящий (DL) и восходящий (UL) потоки между приемником и передатчиком. Как правило, для этого требуется высокая направленность луча, которая обеспечивается за счет электронного управления ФАР.

Возможности для IoT

Стандарт IEEE 802.11ah предусматривает три функции, предназначенные для Wi-Fi 6. Первая из них — модуляция двумя несущими. Каждый символ отображается на двух поднесущих, широко разнесенных по частоте. Общий эффект заключается в увеличении чувствительности приемника на несколько децибел, что может оказаться востребованным в системах, используемых вне помещений. Вторая функция — целевое время ожидания (target wait time, TWT) — форма планирования,

при которой пользовательское оборудование сообщает точке доступа свое доступное окно связи. При этом ослабляется борьба за право передачи и, что важнее, снижается мощность потребления удаленных устройств за счет отказа от постоянного прослушивания канала в ожидании возможности передачи (рис. 7).

Поскольку эти устройства способны работать в плотных средах, требуется выделить базовый набор служб (basic service set, BSS), которые передаются в этом же диапазоне. Решение получило название «пространственное повторное использование».

Для того чтобы отличить кадры от специфичных BSS, применяется цветовая маркировка (BSS coloring). Каждой точке доступа назначается свой цвет. Абонентские станции могут игнорировать сигналы с цветовым кодом, отличным от требуемого.

Повышение эффективности

Итак, текущее определение Wi-Fi 6 включает восемь главных элементов, предназначенных для создания физического уровня (PHY) беспроводной передачи с высокой эффективностью (high-efficiency wireless, HEW). Они перечислены в таблице 1: частотные диапазоны, ширина каналов, расстояние между поднесущими, схема кодирования, длительность символа, длительность защитного интервала, схемы передачи, количество пространственных потоков на пользователя.

Рассмотрим, как схемы передачи влияют на эффективность Wi-Fi 6.

Метод доступа OFDMA обеспечивает более высокую эффективность за счет применения временного и частотного ресурсов, мощности и синхронизации между станциями и пользователями. Хотя максимальная скорость передачи не увеличивается на физическом уровне, такая схема позволяет чередовать одновременные передачи от большого количества пользователей, сокращая задержку для каждого из них.

Благодаря увеличению плотности поднесущих сети Wi-Fi 6 способны снизить с 20 до 6% нагрузку, вызванную защитными интервалами (GI). Использование нескольких более длинных символов и защитных интервалов позволяет динамически адаптировать сеть под эксплуатацию внутри или вне помещения в условиях многолучевости распространения сигнала, а также при его ослаблении.

Модуляция 1024QAM повышает пропускную способность почти на 25%. Однако для достижения этого уровня необходимо обеспечить хорошие условия в канале и исключительную точность модуляции, величину вектора ошибки порядка –35 дБм в передатчике.

Случай многопользовательской передачи — самый сложный. MU-MIMO в сочетании с OFDMA позволяет эффективно управлять передачей в обоих направлениях с помощью ресурсных блоков (resource unit, RU). Основная концепция, заимствованная из 4G LTE, представляет возможность понять не только принцип работы Wi-Fi 6, но и методы тестирования и валидации новых устройств, поддерживающих этот стандарт.

Таблица 1. Восемь главных элементов, обеспечивающих высокую эффективность Wi-Fi 6

Элементы физического уровня беспроводной передачи с высокой эффективностью Wi-Fi 6	Примечание
Поддерживаемые полосы	2,4; 5 ГГц (6 или 7 ГГц)
Полоса канала	20, 40, 80, 80+80, 160 МГц
Схема передачи (шифрование)	OFDMA, OFDM
Расстояние между поднесущими	78,125 кГц
Длительность символа	3,2; 6,4; 12,8 мкс
Длительность защитного интервала	0,8; 1,6; 3,2 мкс
Схема модуляции	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM, 1024QAM
Кол-во пространственных каналов на пользователя	SU-MIMO: ≤ 8; MU-MIMO: ≤ 4

Таблица 2. Количество ресурсных блоков на канал в Wi-Fi 6

Несущие	Пилот.	Полоса пропускания (данные), МГц	20 МГц	40 МГц	80 МГц	160 МГц	80+80 МГц
26	2	1,9	9	18	37	74	74
52	4	3,8	4	8	16	32	32
106	4	8,0	2	4	8	16	16
242	8	18,3	1	2	4	8	8
484	16	36,6	-	1	2	4	4
996	16	76,6	-	-	1	2	2
996	32	153,2	-	-	-	1	1

В таблице 2 приведены возможные способы управления ресурсными блоками. Например, простые схемы связи требуют полосу 1,9 МГц, 26 поднесущих и два пилотных сигнала. Напротив, высокоскоростной обмен может занимать полосу 153,2 МГц, использовать 996 тонов и 32 пилотных сигнала.

В Wi-Fi 6 ресурсные блоки предусмотрены для назначения поднесущих. Точка доступа назначает ресурсные блоки фиксированным частотам в канале (например, 20, 40, 80, 80+80 или 160 МГц). Каждый ресурсный блок может использовать свою схему модуляции, скорость кодирования и уровень мощности. На рис. 8 показаны четыре вероятных варианта отображения ресурсного блока в полосе 20 МГц в спектре Wi-Fi 6. Точка доступа управляет связью в обоих направлениях для каждого пользователя, назначая ресурсные блоки временным интервалам OFDMA. ■

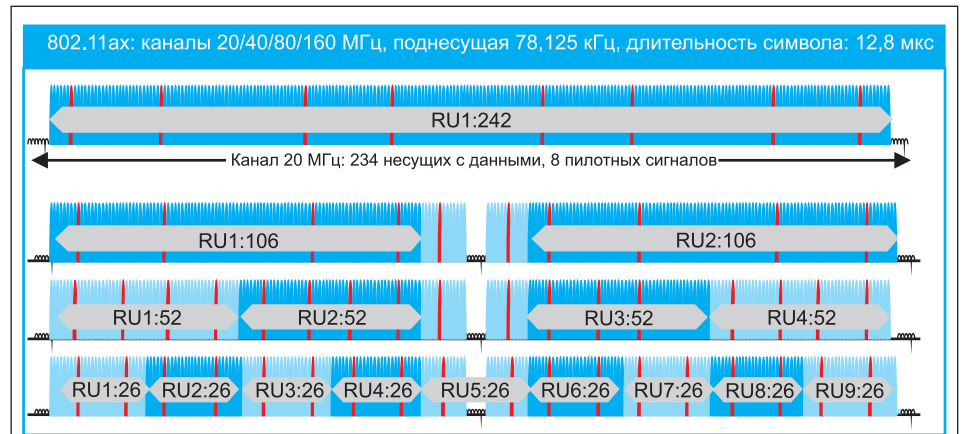


Рис. 8. Отображение ресурсных блоков (RU) в частотном спектре Wi-Fi 6 (см. колонку «20 МГц» в табл. 2)