

# В чем разница между Wi-Fi HaLow и традиционным Wi-Fi

**Скоро Wi-Fi HaLow появится в интеллектуальном дверном замке, камере безопасности, носимом устройстве и беспроводной сенсорной сети рядом с вами. Что такое Wi-Fi HaLow, чем он отличается от традиционного Wi-Fi (4/5/6) и что делает его идеальным для будущего подключения к «Интернету вещей»?**

**Шахар Фельдман (Shahar Feldman)**

**Перевод: Владимир Рентюк**

Wi-Fi — это, можно сказать, кислород для нашего подключенного мира. Это наиболее распространенный протокол беспроводной сети, используемый сегодня, на который приходится более половины всего интернет-трафика. Wi-Fi — универсальный термин для растущего семейства протоколов 802.11, развивающихся более двух десятилетий. Wi-Fi Alliance — организация, способствующая внедрению и развитию Wi-Fi, упростила названия часто используемых поколений Wi-Fi с помощью числовой номенклатуры, например Wi-Fi 4 = 802.11n, Wi-Fi 5 = 802.11ac и Wi-Fi 6 = 802.11ax. Скорее всего, каждый из нас пользуется одной из этих разновидностей Wi-Fi дома или на работе.

Несмотря на повсеместное распространение Wi-Fi 4/5/6, быстрый рост «Интернета вещей» (Internet of Things, IoT) заставил переосмыслить традиционный Wi-Fi. Эта переоценка выявила технологические проблемы и изменила роль, которую протоколы 802.11 должны играть в сегодняшнем мире беспроводных устройств IoT со сверхмалым энергопотреблением. Повышенные требования к подключению на большие расстояния и одновременно требования к низкому энергопотреблению приложений IoT и межмашинного взаимодействия (machine-

to-machine, M2M) вызывают потребность в другом типе Wi-Fi, оптимизированном для приложений IoT.

Протокол Wi-Fi HaLow заполняет эти пробелы, предоставляя беспроводное решение со сверхнизким энергопотреблением, которое подключает множество IoT-устройств на гораздо больших расстояниях и с гораздо меньшим энергопотреблением, чем традиционный Wi-Fi. Протокол ратифицирован рабочей группой IEEE 802.11ah в 2016 году и получил от Wi-Fi Alliance название Wi-Fi HaLow.

По сути, Wi-Fi HaLow — это маломощная, дальнобойная и более универсальная версия Wi-Fi, работающая в нелицензируемом спектре частот, лежащем ниже частоты 1 ГГц<sup>1</sup>. Уникальное сочетание стандарта Wi-Fi HaLow с энергоэффективностью, возможностью подключения на большие расстояния, низкой задержкой, скоростью передачи данных с качеством HD-видео, функциями безопасности и встроенной поддержкой IP делает его оптимальным протоколом для беспроводных устройств «Интернета вещей» с питанием от батарей.

Рассмотрим подробнее некоторые из основных различий между Wi-Fi HaLow и традиционным Wi-Fi (табл.) и выясним, почему

**Таблица.** Сравнение между Wi-Fi HaLow и традиционным Wi-Fi

Функциональная особенность	Wi-Fi 4/5/6 (IEEE 802.11 n/ac/ax)	Wi-Fi HaLow (IEEE 802.11 ah)
Диапазоны рабочих частот	2,4, 5, 6 ГГц	Субдиапазон 1 ГГц (902–928 МГц в США)
Выбор ширины канала	20, 40, 80, 160 МГц	1, 2, 4, 8, 16 (опционально) МГц
Максимальное количество адресуемых станций на точку доступа	2007	8191
Однопоточковый диапазон скоростей передачи данных MCS	6,5–150 Мбит/с (802.11n, Wi-Fi 4)	150 кбит/с – 86,7 Мбит/с
Типовой радиус покрытия	Примерно 100 м	Более 1 км, что в 10 раз больше дальности действия (по сравнению с 802.11n при 20 МГц). В 1000 раз большая площадь, в 1000 раз больший объем передачи данных (по сравнению с 802.11n при 20 МГц)
Улучшение бюджета канала (канал 1 МГц)	–	15–24 дБм

<sup>1</sup> Фактически протокол 802.11ah использует лицензионную полосу частот в субгигагерцевом ISM-диапазоне 900 МГц, но конкретная частота будет зависеть от страны и региона. — Прим. пер.

протокол 802.11ah предпочтителен для подключения приложений «Интернета вещей».

### Протокол, дружественный для батарей

Wi-Fi HaLow обеспечивает исключительную энергоэффективность для чувствительных к энергопотреблению устройств «Интернета вещей». Различные сложные режимы сна, определенные IEEE 802.11ah, позволяют устройствам HaLow оставаться в состояниях с очень низким энергопотреблением в течение длительных периодов времени, сохраняя при этом энергию батареи:

- Target wake time (TWT) — целевое время пробуждения: эта опция позволяет станции (STA) и точке доступа (AP) заранее назначить время, когда спящая STA будет просыпаться и прислушиваться к сигналам маяков.
- Restricted access window (RAW) — окно ограниченного доступа: AP может предоставлять привилегии подмножеству STA для передачи их данных, в то время как другие вынуждены переходить в спящий режим, буферизовать несрочные данные или выполнять и то и другое.
- Extended maximum basic service set (BSS) — расширенный максимальный набор базовых услуг в режиме ожидания: этот режим увеличивает допустимый период простоя STA до пяти лет.
- Hierarchical traffic indication mapping (TIM) — иерархическое отображение индикации трафика: более эффективное кодирование TIM по группам позволяет экономить эфирное время радиомаяков.
- Short MAC headers — короткие заголовки MAC: эта опция сокращает накладные расходы заголовка, время в эфире и энергопотребление, а также освобождает спектр.
- Null data PHY protocol data units (NPD) — блоки данных протокола PHY с нулевыми данными: эта опция встраивает MAC-подобные ACK/NAK на PHY уровне для уменьшения времени передачи и сокращает потребление мощности.
- Short beaconing — короткие радиомаяки: короткие (ограниченные) радиомаяки часто отправляются для синхронизации STA, в то время как полные радиомаяки отправляются значительно реже.
- BSS coloring — раскраска BSS: присвоенные цвета указывают группы BSS для конкретной точки доступа, в то время как STA может игнорировать другие цвета.
- Bidirectional TXOP (BDT) (ранее известный как скоростные кадры) — двунаправленный TXOP: эта опция уменьшает количество обращений к среде передачи, когда STA просыпается, чтобы обнаружить наличие кадров восходящего и нисходящего каналов для передачи. BDT использует индикацию ответа в поле сигнала (SIG) блока данных протокола физического уровня (PPDU), чтобы увеличить защиту

продолжительности TXOP от сторонних передач STA.

Эффективные режимы сна и управления питанием протокола IEEE 802.11ah обеспечивают многолетнюю работу от батареи для IoT-устройств, а также широкий спектр гибких вариантов организации питания и выбора типоразмера батареи — от устройств IoT с малым радиусом действия, работающих на батареях типа «таблетка», до более мощных и больших батарей, которые могут обеспечить связь на расстоянии свыше 1 км. Узкополосные сигналы протокола IEEE 802.11ah с его субгигагерцевой частотой проходят дальше и с меньшим энергопотреблением, что позволяет передавать больше битов на единицу энергии, чем протоколы традиционного Wi-Fi в диапазонах 2,4 и 5 ГГц.

В результате для чипа Wi-Fi HaLow по сравнению с обычным чипом Wi-Fi требуется значительно меньше электрической мощности. В то время как более высокие скорости передачи данных традиционного Wi-Fi позволяют пользователям передавать потоковую передачу видео высокой четкости и быстро загружать большие файлы, используя широкие каналы в диапазонах 2,4, 5 и 6 ГГц, но эффективное расстояние для этих подключений Wi-Fi невелико, и они быстро разряжают свои батареи. Таким образом, необходима частая зарядка или замена батарей, а в идеале — подключение к электросети. По этим причинам Wi-Fi HaLow является лучшим выбором для устройств IoT с ограниченным энергопотреблением, которым необходимо достигать больших расстояний и работать от батареи в течение многих лет, при этом обеспечивая пропускную способность данных со скоростью несколько мегабит в секунду.

### Большая зона покрытия

В целом стандарт 802.11 охватывает необычайно широкий диапазон частот, от субгигагерцевого до диапазона миллиметровых волн (mmWave). Однако HaLow — это первый стандарт Wi-Fi, работающий конкретно в нелицензируемой части спектра субгигагерцевого диапазона частот. Он предлагает скорости передачи данных от сотен килобит до десятков мегабит в секунду и на расстояниях от десятков метров до более чем 1 км.

Сигналы Wi-Fi HaLow с частотой, лежащей ниже 1 ГГц, используют более узкие каналы от 1 МГц и выше по сравнению с самыми узкими каналами 20 МГц, предназначенными для традиционного Wi-Fi (рис. 1). Это 20-кратное масштабирование коэффициента ширины полосы канала (благодаря более низкому тепловому шуму в канале) приводит к увеличению возможностей канала на 13 дБ. По сравнению с традиционным Wi-Fi в полосе 2,4 ГГц частоты, лежащие между 750 и 950 МГц, уже по своей природе, сами по себе, обеспечивают дополнительные 8–9 дБ бюджета линии связи, что связано со снижением потерь при их распространении в свободном пространстве. Кроме того, в протокол Wi-Fi HaLow добавлена оптимизированная по диапазону схема модуляции и новые методы кодирования (MCS10), что дополнительно обеспечивает увеличение канала еще на 3 дБ.

В целом Wi-Fi HaLow, по сравнению с традиционным 2,4 ГГц IEEE 802.11n (Wi-Fi 4), обеспечивает улучшение бюджета канала до 24 дБ. Преимущество бюджета канала связи HaLow еще больше увеличивается по сравнению с протоколами 802.11ac (Wi-Fi 5) и 802.11ax (Wi-Fi 6/6E), которые используют 5 и 6 ГГц. Это связано с их еще более высокой частотой и пропускной способностью, то есть более широкой полосой пропускания.

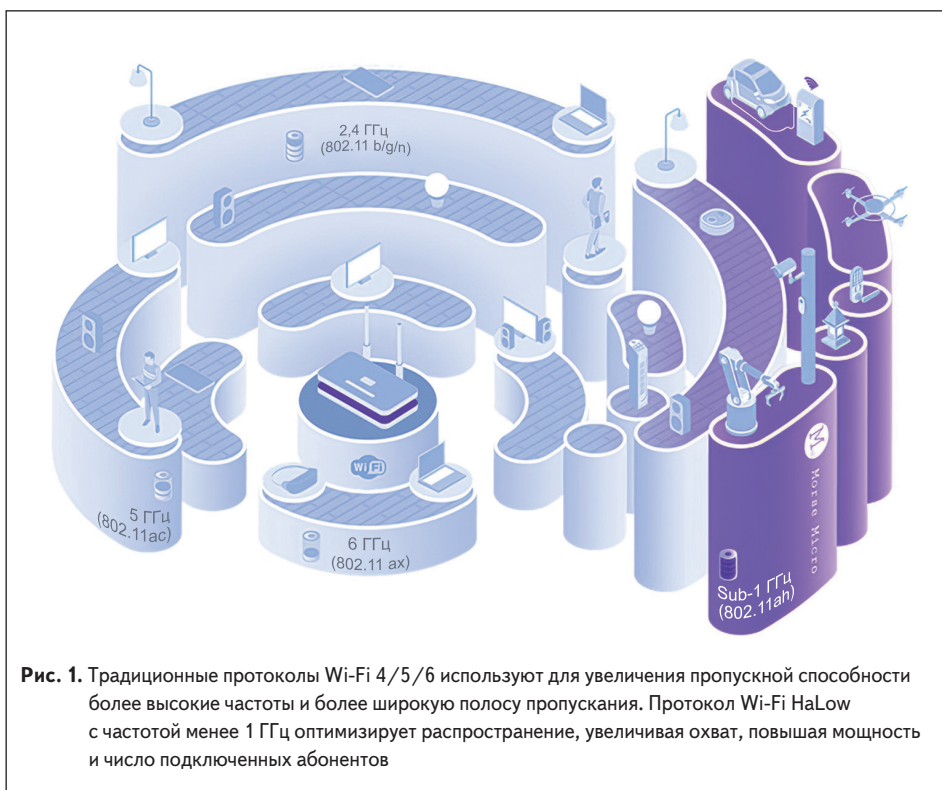


Рис. 1. Традиционные протоколы Wi-Fi 4/5/6 используют для увеличения пропускной способности более высокие частоты и более широкую полосу пропускания. Протокол Wi-Fi HaLow с частотой менее 1 ГГц оптимизирует распространение, увеличивая охват, повышая мощность и число подключенных абонентов

Сказанное объясняет, почему без использования сетевых ретрансляторов-расширителей сигналы Wi-Fi HaLow распространяются в 10 раз дальше, чем традиционный Wi-Fi. Например, камеры с батарейным питанием можно разместить в более удобных местах за пределами стен дома или гаража. Системами освещения можно управлять с одной точки доступа, независимо от того, находится светильник в помещении или на улице в саду.

Предоставление конечным пользователям беспроводного решения IoT, которое достигает сотен метров, причем без дополнительных ретрансляторов-расширителей или использования дорогостоящих тарифных планов сотовой связи, является ключевым конкурентным преимуществом протокола 802.11ah. Благодаря дальности действия преимущества Wi-Fi HaLow увеличивают диапазон покрытия для «умных» домов и сетей «умных» городов, позволяя пользователям управлять устройствами IoT на расстоянии более 1 км, что выходит за рамки досягаемости традиционных протоколов Wi-Fi.

### Лучшее проникновение сигнала

Существует общее правило: чем ниже частота, тем дальше распространяется электромагнитная волна и тем лучше она проникает сквозь преграды. Сигналы Wi-Fi HaLow с частотой менее 1 ГГц могут проходить сквозь стены и другие препятствия легче, чем это возможно при использовании спектра частот традиционного Wi-Fi.

Разнообразие строительных материалов и планировок домов и коммерческих зданий также оказывает меньшее влияние на сигналы HaLow в диапазоне ниже 1 ГГц, чем протоколы Wi-Fi в диапазонах 2,4 и 5 ГГц. Превосходное прохождение сигнала Wi-Fi HaLow через стены и здания помогает сократить количество обращений в службу поддержки и возвратов продуктов, которые иногда мешают датчикам и системам, использующим обычный Wi-Fi (рис. 2).

Для коррекции отражений и устранения проблем многолучевого приема Wi-Fi HaLow использует модуляцию на основе мультиплексирования с ортогональным частотным

разделением (orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM). Производители устройств могут быть уверены в надежном подключении HaLow к точке доступа, независимо от того, находятся их продукты внутри или снаружи, в подвале или на чердаке дома. Эта гибкость избавляет от дополнительных затрат и сложности поставки проприетарных концентраторов или мостовых устройств для удовлетворения потребностей всего имеющегося разнообразия домашних архитектур.

### Широкомасштабируемое решение

Одна точка доступа Wi-Fi HaLow может адресовать до 8191 устройства, что более чем в четыре раза больше, нежели может предложить традиционная точка доступа Wi-Fi. Этого достаточно для подключения каждой светодиодной лампы в отдельности, переключателя света, интеллектуального дверного замка, моторизованной оконной шторы, термостата, детектора дыма, солнечной панели, камеры безопасности или любого мыслимого устройства «умного» дома в обозримом будущем.

Типичные домашние маршрутизаторы Wi-Fi обычно поддерживают лишь десятки устройств, в то время как одна точка доступа Wi-Fi HaLow может стать масштабируемой платформой для установки тех или иных дополнительных устройств, организации служб безопасности и управления коммунальными услугами.

Несколько вариантов сигнализации сокращают накладные расходы, необходимые для управления и контроля большого количества устройств HaLow. Это сводит к минимуму коллизии и освобождает эфир для активных устройств, чтобы передавать больше данных с максимально возможной MCS скоростью. MCS (Modulation and Coding Scheme) — индекс модуляции и схемы кодирования в виде целого числа от 0 (соответствует самому медленному, но надежному режиму) до 31 (наиболее быстрый, но чувствительный к радиопомехам режим). Индекс определяет тип модуляции радиочастоты, скорость кодирования (coding rate), защитный интервал (guard interval) и ширину канала.

Как и в случае с традиционным Wi-Fi, HaLow может автоматически масштабировать полосу пропускания в зависимости от целостности сигнала и расстояния от точки доступа. Предварительно определенные значения MCS поддерживают полосу пропускания 150 кбит/с — 40 Мбит/с для однопоточных продуктов с одной антенной с использованием ширины канала 1–8 МГц, также, но с использованием дополнительного канала с полосой пропускания 16 МГц достижима пропускная способность 80 Мбит/с.

Топология сети Wi-Fi HaLow «звезда» — это превосходное проникновение, широкое покрытие и огромная емкость, которые в совокупности расширяют возможности подключения и позволяют отказаться от сложных в развертывании ячеистых сетей, имеющих ограниченную пропускную способность, а также упрощают установку сети и сводят к минимуму совокупную стоимость владения.

### Преимущества не требующего лицензирования спектра частот с высокой помехоустойчивостью

Как и традиционный Wi-Fi, работающий в диапазонах частот 2,4, 5 и 6 ГГц, Wi-Fi HaLow позволяет конечным пользователям владеть своим оборудованием и применять нелицензируемый спектр радиочастот субгигагерцевого диапазона в полосе 750–950 МГц. Этот спектр обеспечивает для Wi-Fi HaLow максимальную мощность передачи и рабочие циклы, но варьируется в зависимости от той или иной страны мира. Например, доступный спектр HaLow для Северной и Южной Америки составляет 902–928 МГц, а в Европе — это 863–868 МГц (на территории РФ частоты 900 МГц частично отданы сотовым операторам).

Работая в диапазоне ISM (ISM — industrial, scientific, and medical, то есть промышленность, наука и медицина), Wi-Fi HaLow может использовать различные полосы пропускания каналов: 1, 2, 4, 8 и 16 МГц. Чем уже полоса пропускания, тем дальше могут распространяться сигналы. Данные передаются в пакетах, распределенных

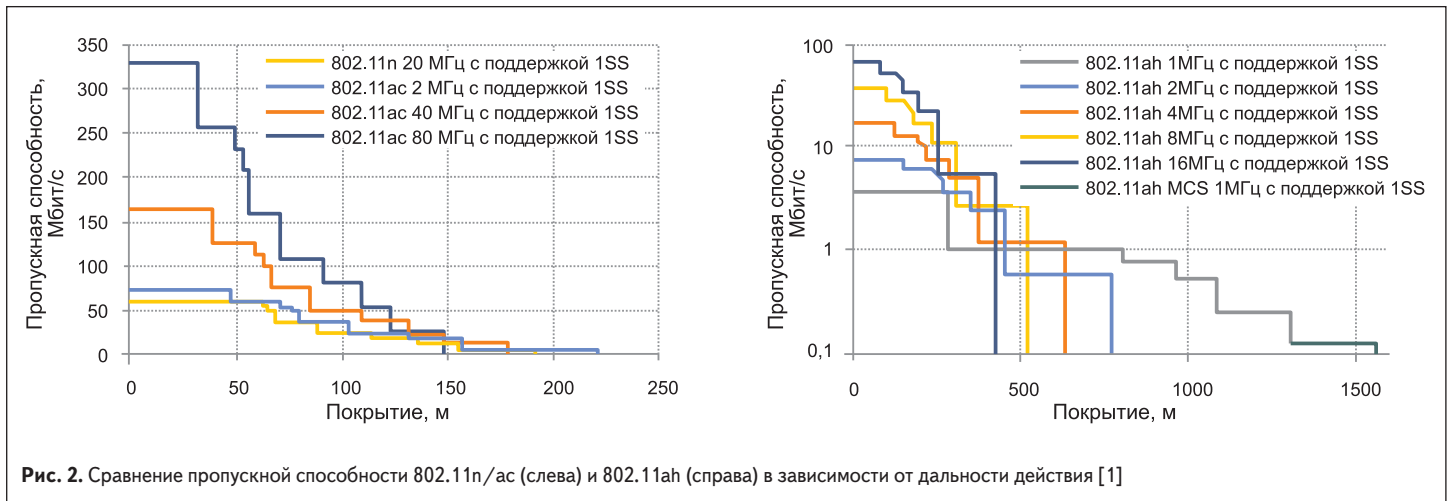


Рис. 2. Сравнение пропускной способности 802.11n/aс (слева) и 802.11ah (справа) в зависимости от дальности действия [1]

по множеству подканалов с использованием, как уже было сказано, модуляции OFDM, что повышает производительность в сложных радиочастотных средах, особенно при сильных помехах от других радиоустройств. Кодирование с прямым исправлением ошибок (Forward error-correction, FEC) также создает дополнительную защиту и возможность для восстановления пакетов, обеспечивая надежные соединения.

### Безопасность и совместимость

Wi-Fi HaLow, как и другие версии IEEE 802.11 Wi-Fi, представляет собой безопасный беспроводной протокол. Он поддерживает последние требования Wi-Fi для аутентификации (WPA3) и шифрование AES беспроводного трафика (over-the-air, OTA) со скоростями передачи данных, которые позволяют безопасно обновлять прошивку OTA.

Как и другие типы Wi-Fi, HaLow является всемирно признанным стандартом (IEEE 802.11ah), который определяет, как подключенные устройства аутентифицируются и безопасно обмениваются данными. Поставщики оборудования, использующие Wi-Fi HaLow, могут быть абсолютно уверены, что их продукты и сети будут взаимодействовать в соответствии с рекомендациями по развитию Wi-Fi Alliance. Поскольку это часть стандарта IEEE 802.11, то сеть Wi-Fi HaLow может сосуществовать с сетями Wi-Fi 4, Wi-Fi 5 и Wi-Fi 6, не влияя на их радиочастотные характеристики.

### Переход на родной язык с IP

Все сети IoT требуют поддержки интернет-протокола (IP) для подключения к облаку. Поскольку Wi-Fi HaLow является стандартом Wi-Fi 802.11, он обеспечивает встроенную поддержку TCP/IP. Эта встроенная возможность IP означает, что для подключения к «Интернету вещей» не требуются проприетарные шлюзы или мосты. Все клиентские устройства, подключенные к маршрутизатору с поддержкой Wi-Fi HaLow для прямого доступа в Интернет, облачных сервисов и управления данными IoT, могут использовать транспортные протоколы IPv4/IPv6.

### Эффект от использования Wi-Fi HaLow — расширение охвата и возможностей «Интернета вещей»

Перегрузка сети, ограничения диапазона и более высокое энергопотребление традиционного Wi-Fi, а также ограниченное количество устройств, которые могут быть подключены к одной точке доступа, больше не являются приемлемым подходом для современного мира подключенных устройств IoT. Эти ограничения препятствуют появлению новых бизнес-моделей, ориентированных на «Интернет вещей», в самых различных отраслях, которые требуют большего диапазона, большей емкости и более гибких вариантов управления батареями и питанием при минимальных затратах на развертывание.

В качестве протокола большой дальности Wi-Fi HaLow поддерживает приложения IoT не только внутри, но и вне помещений, за пределами досягаемости Wi-Fi 2,4 и 5 ГГц, такие как удаленные камеры видеонаблюдения, сети контроля доступа и даже дроны. Другие потенциальные варианты использования — крупные общественные места, спортивные арены, торговые и конференц-центры, где одна точка доступа Wi-Fi HaLow может заменить многие традиционные точки доступа Wi-Fi, устраняя необходимость в сложных ячеистых сетях, упрощая установку и снижая совокупную стоимость владения.

Индустриальный «Интернет вещей», датчики управления процессами, автоматизация зданий, склады и магазины розничной торговли также входят в число многих других приложений, которые извлекают выгоду из этого протокола с малым энергопотреблением на большие расстояния, позволяющего довольно-таки большому числу устройств оставаться подключенными во все более автоматизированном мире. Здесь Wi-Fi HaLow выделяется среди традиционных протоколов 802.11 своей расширенной зоной действия, энергоэффективностью, емкостью и универсальностью. ■

### Литература

1. Baños-Gonzalez V., Shahwaiz Afaqui M., Lopez-Aguilera E., Garcia-Villegas E. IEEE 802.11ah: A Technology to Face the IoT Challenge. [www.mdpi.com/1424-8220/16/11/1960](http://www.mdpi.com/1424-8220/16/11/1960)