



# КРАТКИЙ ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПО БЕСПРОВОДНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ».

## ЧАСТЬ 3. WI-FI

**ВЛАДИМИР РЕНТЮК**  
Rvk.modul@gmail.com

В двух предыдущих частях этого обзора были рассмотрены общие вопросы беспроводной связи применительно к «Интернету вещей» (Internet of Things, IoT) [1] и основные технологии ближнего радиуса действия [2]. Однако есть такая технология, которая родилась в рамках ближнего диапазона покрытия, причем почти одновременно с Bluetooth, а потом смогла шагнуть дальше — в область большего радиуса действия. Речь идет о Wi-Fi: это достаточно широкая тема, и в связи с огромной популярностью и гибкостью применения данная технология заслуживает отдельного описания. Технология Wi-Fi, конечно, не ограничена только интересующими нас IoT-устройствами с питанием от батареи, однако имеет самое непосредственное отношение и к этой современной концепции.

### ВВЕДЕНИЕ В WI-FI



В целом Wi-Fi — это не что-то единичное, а большое семейство стандартов передачи цифровых потоков данных по радиоканалам. Название этой технологии возникло как производное от английского словосочетания wireless fidelity, которое сначала использовалось

в рекламных целях, поскольку было созвучно давно устоявшемуся термину Hi-Fi из области звукозаписи и звуковоспроизведения, означавшему нестандартную аппаратуру с высокой верностью (high fidelity) воспроизведения. Как иногда бывает в жизни, никто не думал и не гадал, но именно этот маркетинговый ход прижился как термин, и иногда мы уже не представляем.

Разработка беспроводной технологии Wi-Fi началась в 1999 г., когда группа компаний, стоящих у истоков беспроводных технологий, — 3Com, Aironet (сейчас Cisco), Harris Semiconductor (сейчас Intersil), Lucent (сейчас Agere), Nokia и Symbol

Technologies — основали организацию Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA). Именно они зарегистрировали свою новую технологию под торговой маркой Wi-Fi. В 2000 г. WECA стала частью Wi-Fi Alliance, представляющего в настоящее время промышленную группу, в которую входят более трехсот компаний — все основные производители беспроводного оборудования Wi-Fi. Удачно выбранное название технологии, как мы видим, сохранилось и стало торговой маркой теперь уже Wi-Fi Alliance. Основными задачами этого альянса являются разработка, тестирование, сертификация, поддержка и продвижение форматов

беспроводной связи на основе Wi-Fi-протоколов.

Интересно, что поначалу ничто не предвещало того, во что в итоге превратится эта технология, поскольку Wi-Fi разрабатывался с весьма приземленной целью. Но, как и все хорошо, грамотно и, главное, вовремя разработанное, он успешно занял свою весьма немалую нишу на рынке беспроводной связи, причем не только т. н. широкого потребления, но и промышленного оборудования, IoT и, как уже было сказано, сетей большего радиуса действия.

Первоначально стандарт Wi-Fi был предназначен для замены сетевого кабеля и использовался в качестве канала связи между ноутбуками и принтерами. Поэтому он был разработан с высокой пропускной способностью канала передачи данных (от 10 до 50 Мбит/с) и при этом на него не накладывались особые ограничения по потребляемой мощности — что сейчас является основным требованием для IoT-устройств с питанием от батареи или аккумулятора. Кроме того, достаточно свободно определялись размеры конечного решения. С появлением «Интернета вещей» стали доступны самые разные варианты исполнения Wi-Fi-модулей — например, совсем не похожие на привычные всем нам роутеры (рис. 1). Но будем справедливы: проблема энергопотребления пока остается ахиллесовой пятой многих протоколов Wi-Fi. Так, представленный на рис. 1 миниатюрный модуль при его использовании с протоколом 802.11b (ССК 1 Мбит/с,  $P_{out} = 19,5$  дБм) потребляет 215 мА, в режиме 802.11n (с пакетами длиной по 1024 бит и  $P_{out} = -65$  дБм) — 102 мА, а в дежурном режиме — 70 мА, что явно многовато. Тем не менее, отве-

чая требованиям рынка, появились и решения с пониженным энергопотреблением. Все старые и новые протоколы, а также особенности реализации Wi-Fi будут рассмотрены ниже.

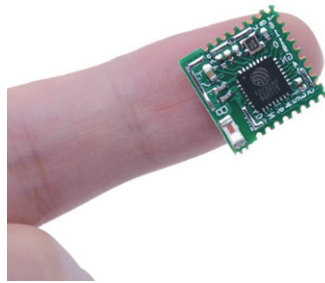
В большое и давно состоявшееся семейство Wi-Fi входит много «родственников», имена которых начинаются с IEEE 802.11. Именно благодаря тому, что все они подпадают под стандарты семейства IEEE 802.11xxx, технология Wi-Fi обеспечивает решения почти на любой вкус [4]. Как и все удачные разработки в мире электроники, Wi-Fi эволюционирует и постоянно развивается по мере появления новых идей и технологий. В настоящее время его наиболее популярная разновидность работает в ISM-диапазонах 2,4 и 5 ГГц, но с национальными ограничениями: так, в России для этой технологии разрешены не требующие лицензирования (при выполнении ограничений по мощности) полосы частот 2400–2483,5 МГц и 5150–5350 МГц.

Несмотря на существующие проблемы, к которым мы еще вернемся, аналитики не справляют по технологии Wi-Fi поминки, а прогнозируют ей достаточно хорошие перспективы (рис. 2). Особенно это касается роста рынка оборудования Wi-Fi с малым собственным потреблением — применительно к интересующей нас теме IoT [5].

### ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ WI-FI И ЕЕ ОСНОВНЫЕ ПРОТОКОЛЫ



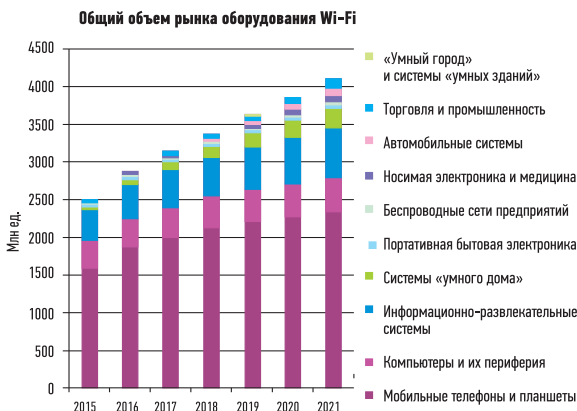
Под термином Wi-Fi обычно подразумевают не столько технологии



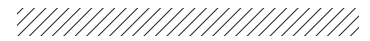
**РИС. 1.** ◀ Модуль Wi-Fi PSF-B85 от компании ITEAD, использующий микросхему ESP8285 с высокой степенью интеграции [3]

и протоколы, сколько беспроводную локальную сеть (Wireless LAN, или WLAN). Это связано с тем, что наиболее распространенное применение данной технологии — обеспечение устройствам доступа к локальной сети и Интернету без прямого подключения через Ethernet-кабель. Сети Wi-Fi почти повсеместны: они встречаются в большинстве квартир, офисов и общественных мест, и с помощью смартфона можно практически везде найти нужную точку доступа.

Поскольку непосредственное «воплощение» технологии Wi-Fi в различных формах началось с 1999 г. (сам протокол вышел в 1997 г.), то для реализации таких решений уже имеется много поставщиков — как отдельных микросхем (чипсетов), так и полностью готовых модулей, что дает разработчикам широкий выбор возможностей. Однако нельзя обольщаться: следует проявлять известную осторожность при оценке характеристик компонентов, а особенно приемника. Дело в том, что в зависимости от выбранного типа микросхем может сильно меняться производительность, а именно: диапазон частот, пропускная способность, блокировки, коэффициент ошибок при передаче



**РИС. 2.** ◀ Прогноз развития рынка оборудования с использованием технологии Wi-Fi. Источник информации: исследование компании ABI, 2015 г.



пакетов и потребление мощности от батареи. Для успешного функционирования устройства необходимо применять только те компоненты, которые отвечают поставленным перед разработчиком задачам. Поскольку Wi-Fi изначально был предназначен для высокоскоростной передачи данных (10 Мбит/с), он, как правило, потребляет больше энергии, чем другие протоколы ближнего радиуса действия, поэтому при использовании основных протоколов разработчикам не удастся достичь 10-летнего срока службы в устройствах Wi-Fi для IoT со стандартными батареями без их подзарядки.

Чтобы получить реальную картину того, как устройство использует доступную энергию, и рассчитать срок службы его источников питания, необходимо измерить и оценить фактическое энергопотребление устройства в сравнительно длительном режиме покоя и — относительно него — очень коротких активных состояниях передачи с высоким током потребления. С другой стороны, поскольку Wi-Fi по своей природе легко обеспечивает подключение к локальным сетям и Интернету, рынок все же откликнулся на потребность в повышении энергоэффективности и предложил два протокола Wi-Fi, которые хотя бы частично решают данную проблему. Место Wi-Fi в IoT-технологиях удачно показано на рис. 3 [5].

### IEEE 802.11b Wi-Fi

Это первый протокол из семейства 802.11. Он был разработан в 1999 г., действует в ISM-диапазоне с частотой 2,4 ГГц и использует широкополосную модуляцию с прямым расширением спектра (англ. Direct Sequence

Spread Spectrum, DSSS), называемую также кодированием с применением дополнительных кодов (англ. Complementary Code Keying, CCK). При этом для избежания конфликтов с другими устройствами, совместимыми с IEEE 802.11b, в данном протоколе предусмотрен множественный доступ к каналу связи с контролем несущей и предотвращением коллизий (англ. Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA).

Использование CSMA/CA увеличивает потребление энергии от батареи и обеспечивает фактическую скорость передачи данных лишь до 6 Мбит/с. Однако применение этой технологии при совместной работе устройств в без того переполненном радиочастотном спектре является более эффективным решением для передачи данных, чем протоколы без CSMA/CA. К сожалению, не все беспроводные протоколы с частотой 2,4 ГГц являются «дружелюбными» при обмене данными, поэтому использование такого подхода в условиях сложной обстановки в эфире дает определенные преимущества.

### IEEE 802.11a Wi-Fi

Данный протокол работает в диапазоне частот 5 ГГц. Он способен передавать потоки данных со скоростью до 54 Мбит/с (хотя реальная пропускная способность канала связи достигает примерно половины от этой скорости) благодаря применению мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (англ. Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, OFDM) и CSMA/CA. Сигнал OFDM является цифровой схемой модуляции, использующей множество близко расположенных ортого-

нальных поднесущих, которые одновременно переносят часть данных, проходящих по линии связи. OFDM-модуляция также позволяет компенсировать помехи в движении и в условиях многолучевого приема, который может иметь место в зданиях с большим количеством металлических конструкций или многочисленными пользователями Wi-Fi.

Особенностью протокола IEEE 802.11a является то, что для достижения работоспособной модуляции и, следовательно, скорости передатчика на каждом конце линии связи соединяются, основываясь на локальной радиочастотной среде. Это может быть большим преимуществом для устройств, которым требуется высокая скорость передачи данных в условиях внешних помех, или для системы с множеством устройств. Высокая скорость в IoT означает более короткое время передачи и, соответственно, меньшую загруженность выделенной полосы частот. Кроме того, поскольку протокол IEEE 802.11a использует диапазон с частотой в 5 ГГц, это обеспечивает большую ширину полосы пропускания. Но необходимо учитывать, что сигналу с частотой 5 ГГц требуются другие условия распространения, а это, естественно, оказывает влияние на функционирование системы в целом. У данного участка частотного спектра особая физика, поэтому сигналы такой частоты не будут проникать в объекты так же, как с частотой 2,4 ГГц. Кроме того, доступные каналы для передачи данных в этой полосе частот зависят от стандартов того или иного государства, в котором такая система развернута.

Однако есть и другая проблема, которая касается области частот 5 ГГц.

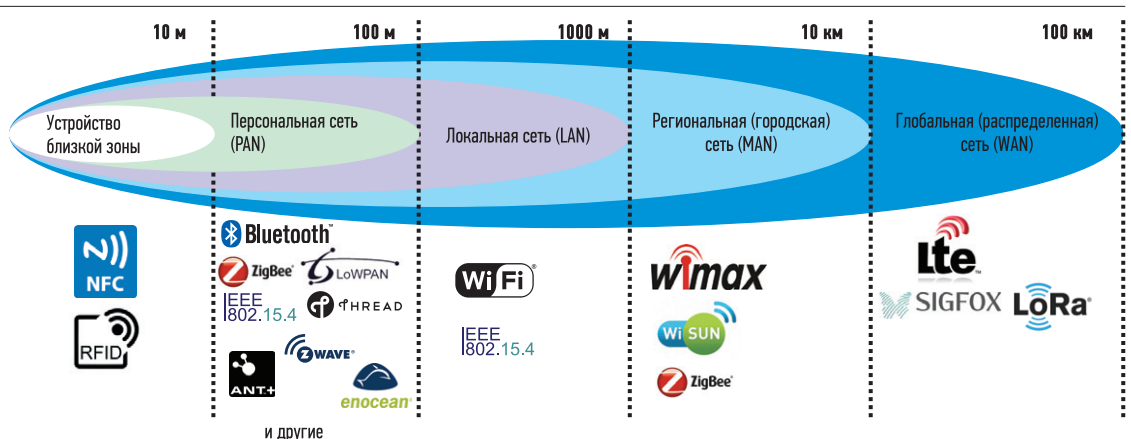


РИС. 3. ► Место Wi-Fi по отношению к другим беспроводным IoT-технологиям

Дело в том, что в некоторых странах этот диапазон применяется для трансляции спутникового телевидения, в целях радиолокации и т. д. Сигналы от такой техники могут вносить помехи в работу Wi-Fi-устройств, использующих спецификацию IEEE 802.11a, поэтому некоторые каналы в этой полосе могут быть им недоступны. Эти каналы могут быть полностью запрещены для использования в Wi-Fi-устройствах или могут быть разрешены, но только при условии, что устройства должны немедленно освободить каналы, если в них был обнаружен радиолокационный сигнал. Поэтому в решениях, работающих по протоколу 802.11a, используется технология DFS (англ. Dynamic Frequency Selection — динамический выбор частоты). Термин вошел в обиход еще во время развития технологии РЛС и подразумевает, что радиостанции (в нашем случае устройства Wi-Fi) меняют канал, занятый радиолокатором. Ваше оборудование может перестроиться на резервный канал, но при этом во время перенастройки некоторые точки доступа из сети будут выведены. Можно также отключить ряд частот и, таким образом, не использовать DFS в своих устройствах. Это позволит избежать помех от радиолокатора и исключить возникновение в сети прерываний типа hiccup (буквально — икоты) как следствия динамической перенастройки каналов в непредсказуемые моменты времени, но при этом, естественно, вам будет доступно меньшее число каналов в единицу времени.

Еще одна проблема касательно IEEE 802.11a заключается в том, что многие беспроводные транзитные сети также работают в частотном диапазоне 5 ГГц, поэтому из-за высокой мощности соседнего канала или диаграммы направленности антенны вблизи таких сетей Wi-Fi-устройства могут сталкиваться со значительными помехами. И хотя область 5 ГГц имеет широкую полосу и, соответственно, достаточно места для размещения большого количества каналов с высокой пропускной способностью, ей все равно свойственны проблемы, аналогичные для всего не требующего лицензирования спектра частот. О некоторых из них мы поговорим отдельно.

### IEEE 802.11g Wi-Fi

Данный протокол был предложен в 2003 г. Он так же, как и IEEE 802.11a,

использует OFDM-модуляцию, но является стандартом семейства Wi-Fi, работающим в диапазоне 2,4 ГГц. Хотя IEEE 802.11g использует иной тип модуляции, чем 802.11b, его можно применять для того, чтобы избежать помех при взаимодействии в сети, с устройствами, выполненными в соответствии с протоколом IEEE 802.11b. Однако такие смешанные системы в основном будут иметь меньшую пропускную способность, чем в случае соответствия всех устройств кластера спецификации IEEE 802.11g.

С другой стороны, подобные устройства Wi-Fi могут адаптивно менять тип модуляции, что способствует повышению пропускной способности в более благоприятных радиочастотных средах: в ISM-диапазоне 2,4 ГГц максимальная скорость передачи составляет до 54 Мбит/с.

Также нужно учитывать, что аппаратные средства или прошивка, необходимые для обеспечения такой универсальности и, следовательно, более сложного поведения, могут потребовать большего потребления энергии от батареи, чем более простые протоколы. Поэтому здесь важно найти компромисс между необходимой скоростью передачи данных и сложностью технологии. Это даст возможность определить, какой из членов обширного семейства Wi-Fi лучше всего подходит для конкретного применения.

### IEEE 802.11n Wi-Fi и IEEE 802.11ac Wi-Fi

IEEE 802.11n Wi-Fi (2009 г.) и IEEE 802.11ac Wi-Fi (2014 г.) являются дополнениями к стандартам серии IEEE 802.11. Они предоставляют более сложные и широкие функциональные возможности устройствам физического уровня в сетях IEEE 802.11, включая MIMO (от англ. Multiple Input Multiple Output). MIMO — это метод пространственного кодирования сигнала, позволяющий увеличить полосу пропускания канала. Передача и прием данных по данным протоколам осуществляются системами из нескольких антенн с формированием определенной диаграммы направленности, а также с агрегацией кадров (фрагментов данных на канальном уровне), что в совокупности обеспечивает более широкополосные каналы.

Однако повышение скорости передачи данных требует и значительно большей мощности, поэтому чаще всего эти решения Wi-Fi используются не в самих IoT-устройствах, а в более сложной линейной оборудовании (беспроводных маршрутизаторах) и поэтому выходят за рамки настоящего обзора.

Несомненно, Wi-Fi довольно часто является очевидным выбором для IoT, что иллюстрируют показанные в статье графики прогноза применения данной технологии. Но описанные выше ограничения и проблемы привели к добавлению в семейство стандартов этих двух спецификаций — 802.11ah и 802.11ax. Их появление напрямую связано с интересующими нас беспроводными технологиями в рамках «Интернета вещей», где, как известно, имеют место самые разнообразные требования к подключению с точки зрения диапазона, пропускной способности данных, энергоэффективности и стоимости конечного IoT-устройства.

### Wi-Fi HaLow

Одна из новых технологий Wi-Fi, HaLow (рис. 4), основана на стандарте IEEE 802.11ah, который был ратифицирован в октябре 2016 г. Это первый стандарт Wi-Fi, специально разработанный для приложений IoT. Он был введен для решения проблем диапазона и мощности «Интернета вещей». Протокол 802.11ah использует лицензионную полосу частот в субгигагерцовом ISM-диапазоне 900 МГц (конкретная частота будет зависеть от страны и региона). Это позволяет увечить радиус покрытия и одновременно выполнить требования по снижению потребляемой мощности. Использование предопределенных периодов пробуждения и активности оптимизирует энергопотребление и обеспечивает дальность действия в радиусе до мили (около 1609 м) [5].

Еще одно огромное преимущество HaLow — это возможность подключения более 8 тыс. устройств с одной точки доступа. Более того, стандарт 802.11ah поддерживает mesh-сет, поэтому тысячи устройств могут последовательно соединяться и объединяться. Сеть из устройств технологии 802.11ah теоретически может охватывать весь город. Это делает технологию чрезвычайно рентабельной, особенно для поставщиков услуг

и в рамках «умных» городов, поскольку позволяет так сгруппировать станции, чтобы свести к минимуму их влияние и расширить зону покрытия.

Однако для 802.11ah потребуются специализированные точки беспроводного доступа (или радиостанции внутри точек доступа) и клиентское оборудование (в отличие от стандартного Wi-Fi), хотя специалисты рассчитывают на то, что субгигагерцовые полосы HaLow будут встроены в уже имеющиеся точки доступа Wi-Fi. Несмотря на то, что протокол 802.11ah был ратифицирован в октябре 2016 г., по реализации Wi-Fi HaLow пока поступило очень мало предложений от поставщиков микросхем и модулей. Тем не менее чипсеты и программное обеспечение HaLow доступны уже сегодня — например, от компании Newracom [5].

#### NEW (802.11ax)

Предстоящий протоколу 802.11ax стандарт высокой эффективности (IEEE 802.11ax) также предлагает ряд функций специально для IoT. Он сохраняет целевые функции времени и функции группировки станций от 802.11ah, при этом позволяя IoT-клиентам и быть экономными в части расхода энергии, и избегать коллизий (говоря простым языком — не мешать друг другу в эфире). Кроме того, этот стандарт предусматривает многопользовательские возможности в виде восходящей линии связи MIMO, как в протоколах 802.11n и 802.11ac, что в сочетании с меньшим интервалом поднесущих (78,125 кГц) дает нескольким клиентам (до 18 пользователей) одновременно отправлять данные по каналу с полосой частот 40 МГц.

Первое голосование за 802.11ax было проведено в период между 1 декабря 2016 г. и 8 января 2017 г., но не дало положительных результатов (было предложено 7418 комментариев), и повторное голосование было перенесено на осень 2017 г. Так что публикация, открывающая путь протоколу 802.11ax, как ожидается, задержится до 2019 г. Принятие 802.11ax в рамках IoT будет зависеть от стоимости клиентов 802.11ax и того, как быстро клиенты и точки доступа попадут на рынок. И хотя это скорее кажется делом ближайшего будущего, жизнь не стоит на месте: уже доступны чипсеты данного протокола от компаний Qualcomm и Broadcom, а компания Asus анонсировала первый Wi-Fi-роутер с его поддержкой.

#### WI-FI БОЛЬШОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ

Как уже было сказано в начале этой статьи, технология Wi-Fi не ограничивается сетями малого радиуса и небольшой зоной покрытия. Голь, как известно, на выдумки хитра. Была найдена лазейка: появились поставщики, которые предоставляют оборудование для обеспечения беспроводной связи на больших расстояниях с использованием частот и типов модуляции технологии Wi-Fi в сочетании с более крупными и эффективными антеннами, в некоторых случаях узконаправленными. Кроме того, в таком оборудовании, как правило, применяется технология, позволяющая удаленной точке доступа (в виде физического устройства) получать электрическую энергию вместе с данными через стандартную витую пару Ethernet-соединения. Эта технология называется PoE (от англ. Power over Ethernet, буквально — питание через

Ethernet). Как уже упоминалось, такие устройства доступа могут быть сконфигурированы как соединение точка-точка (point-to-point) или как радиально-узловая многоточечная связь — точка-мультиточка (point-to-multipoint). Благодаря особенностям реализации они позволяют обеспечить связь в не требующем лицензирования спектре радиочастот Wi-Fi с дальностью около 20 км. Однако такое хитрое использование нелицензионного спектра может повлечь и значительные уровни помех. Тем не менее подобные системы применяются поставщиками беспроводных интернет-услуг в полосах 2,4 и 5 ГГц в городских и пригородных районах.

Для частных транзитных сетей такое решение предоставляет недорогой способ ретрансляции данных на большие расстояния. Сопрежение ретрансляционных станций с локальной точкой доступа дает возможность быстрого и простого соединения с кластером устройств с поддержкой Wi-Fi в отдаленной области — например, для рекреационных или сельскохозяйственных нужд. Хотя это имеет минимальное отношение к интересующему нас беспроводному «Интернету вещей», подобное решение может быть хорошим инструментом для построения сетей с большим радиусом покрытия от отдельного устройства. Но с потреблением энергии на уровне ватт они, скорее всего, не будут использоваться как узловые IoT-устройства.

#### ПРЕИМУЩЕСТВА И ПРОБЛЕМЫ WI-FI ПРИМЕНИТЕЛЬНО К IoT И НЕ ТОЛЬКО

Как известно, одним из столпов, на которых зиждется успех IoT, является потребность подключить множество IoT-устройств к остальному миру через Интернет. Можно с уверенностью предположить, что основой для этого станет именно беспроводная связь. Вопрос остается в том, какая из технологий наиболее подходящая? Сейчас существует много вариантов, каждый из которых предлагает различные способы установления соединения для приложений IoT. Наиболее востребованными являются Wi-Fi, Bluetooth и их разновидности, а также LTE на базе сотовой связи. Конкретный выбор будет зависеть уже от определенных области применения, диапазона и поло-

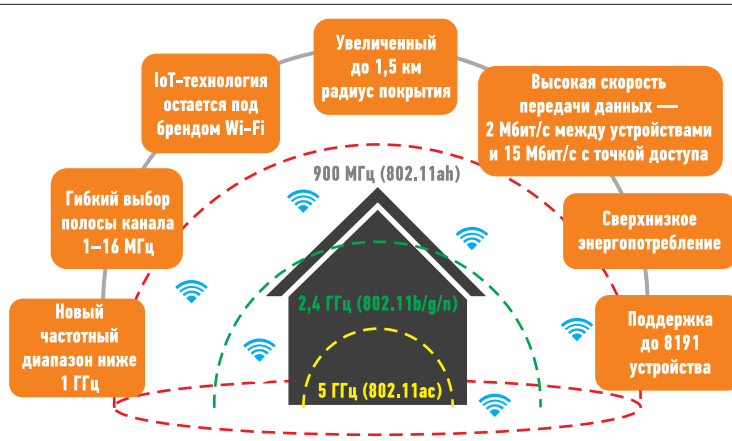


Рис. 4. ► Сравнение Wi-Fi HaLow с предшествующими технологиями Wi-Fi

сы частот, пропускной способности канала передачи данных и времени автономной работы. В каких-то случаях, возможно, даже будет необходима комбинация технологий. Но это тема уже следующей (и завершающей) части данной статьи.

Вероятнее всего, именно Wi-Fi останется одной из самых популярных технологий IoT в бурно развивающемся сегменте рынка оборудования для «умного дома». Он находится в этой области самое широкое применение, поскольку имеет целый ряд изложенных выше преимуществ и в данном случае практически не связан ограничениями в части энергопотребления, которые не характерны или не так критичны для интеллектуальных домашних приложений с питанием от сети напряжения переменного тока. Что касается Wi-Fi с малым энергопотреблением, то в основном он будет использоваться в тех приложениях, которым достаточно периодической передачи данных с низкой скоростью. Это такие области применения, как часть сенсорного оборудования и счетчики в «умных домах», носимые и медицинские устройства, а также другие сегменты коммерческого и промышленного рынков (рис. 1).

Однако мы должны помнить, что у технологии Wi-Fi есть и недостатки. Помимо высокого энергопотребления, существует еще целый ряд проблем. Первая заключается в том, что эта технология, работая в не требующем лицензирования спектре частот, как следствие, подвергается повышенному уровню помех из-за их перегруженности.

Вторая — поскольку Wi-Fi может напрямую и без кабеля подключаться к Интернету со всеми его угрозами, необходимо уделять особое внимание проблемам кибербезопасности. Устройство Wi-Fi должно быть спроектировано так, чтобы обеспечить конфиденциальность данных и правильную работу конечного приложения. При массовом появлении IoT-устройств из-за отсутствия в многих из них браузеров и клавиатур их подключение к Wi-Fi-сети с точки зрения настроек политики безопасности было упрощено. В результате это привело к атакам DoT (DDoS of Things) на IoT-устройства, и эта проблема все еще до конца не решена.

Учитывая этот вопрос, поставщикам Wi-Fi-оборудования необходимо уделять больше внимания разработ-

ке программных продуктов, которые будут гарантировать (особенно это касается индустриального «Интернета вещей»), что IoT-устройства подключаются только по разрешенным портам и протоколам [6]. При этом еще добавляются трудности, связанные с широко внедряемыми облачными технологиями. В «Интернете вещей» доступ к облачному серверу должен быть бесперебойным, и для этого Wi-Fi-сети должны стать еще более безопасными — с возможностью круглосуточного мониторинга, управления и самовосстановления.

Еще одна проблема, связанная с Wi-Fi, — это конкуренция между ним и LTE. Вторая технология (подробнее она будет рассмотрена в четвертой части обзора) позволяет использовать уже имеющиеся сети сотовой мобильной связи. Но дело в том, что традиционных частот (800–900, 2500–2600 МГц) для LTE недостаточно. Многие операторы связи в ряде регионов уже отдают предпочтение LTE в диапазоне 1800 МГц вместо традиционной связи GSM, и поэтому передача данных сегодня превышает голосовой трафик. В связи с чем LTE, а вернее ее разновидность LTE-U (LTE-Unlicensed), «замахнулась» на традиционную для Wi-Fi полосу частот в диапазоне 5 ГГц. И Wi-Fi в данном случае находится в более тяжелом положении: помимо того, что сотовые сети распространены уже практически повсеместно, LTE позволяет устройствам с низким энергопотреблением, которые не требуют высокой скорости, передавать данные в виде небольших пакетов. При этом LTE имеет большой диапазон покрытия и гарантирует IoT-устройствам длительный срок службы от батареи.

Что касается высокоскоростной передачи данных, то LTE обеспечивает более эффективное использование спектра радиочастот. Так, при идеальных условиях приема LTE может развивать скорость до 50 Мбит/с с полосой 15 МГц на канал, в то время как Wi-Fi, хоть и способен выдать до 100 Мбит/с, но с полосой канала 40 МГц [7].

Тем не менее у Wi-Fi в этом раскладе есть свой козырь: практически во всех случаях он является условно бесплатным для пользователя, а за использование LTE нужно регулярно платить. Так что здесь место осознанным компромиссам. Кроме того, Wi-Fi Alliance, к которому при-

соединился и Google, достаточно влиятелен, и деньги в технологию Wi-Fi вложены немалые, чтобы просто взять и сдать.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология Wi-Fi готова уже сегодня подключить миллиарды IoT-устройств друг к другу, к Интернету и к миллиардам единиц бытовой электроники, компьютеров и промышленного оборудования. Высокая устойчивость Wi-Fi, его гибкость и пригодность для многоцелевого применения, а также давняя приверженность Wi-Fi Alliance к функциональной совместимости использующих эту технологию устройств (независимо от ее версии) делают Wi-Fi одной из идеальных платформ для инноваций в безграничном множестве технологий «Интернета вещей».

В данной статье мы рассмотрели одну из основных беспроводных технологий, которая обеспечивает организацию сетей IoT как на низком уровне с малой зоной собственного покрытия, так и для передачи информации на большие расстояния. Однако нужно признать, что эта технология, особенно в последнем варианте, не является панацеей. Для собираемых в рамках IoT «больших данных» и их передачи, часто на огромные расстояния, а также для обработки, анализа и последующего использования информация для принятия решений имеет еще целый ряд специализированных протоколов и технологий. Это станет темой последней, четвертой части предлагаемого обзора беспроводных технологий «Интернета вещей». ●

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ренток В. Краткий путеводитель по беспроводным технологиям «Интернета вещей». Часть 1. Сети, шлюзы, облака и протоколы // Control Engineering Россия. 2017. №6.
2. Ренток В. Краткий путеводитель по беспроводным технологиям «Интернета вещей». Часть 2. Ближний радиус действия // Control Engineering Россия. 2018. №1.
3. PSF-B85. [www.itread.cc/wiki/PSF-B85](http://www.itread.cc/wiki/PSF-B85).
4. The Menu at the IoT Café: A Guide to IoT Wireless Technologies. Application Note. Keysight Technologies. September 10, 2017. [www.literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5992-2412EN.pdf](http://www.literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5992-2412EN.pdf).
5. Hetting C. Giant strides to connect all things with Wi-Fi 802.11ah (HaLow). [www.wifinowevents.com/news-and-blog/giant-strides-connect-things-wi-fi-802-11ah-halow/](http://www.wifinowevents.com/news-and-blog/giant-strides-connect-things-wi-fi-802-11ah-halow/).
6. Парнер К. Актуальные проблемы промышленной кибербезопасности // Control Engineering Россия. 2017. IIOT.
7. LTE намерен вытеснить Wi-Fi из диапазона 5 ГГц. [www.wifi-solutions.ru/news/20160216/](http://www.wifi-solutions.ru/news/20160216/).