



БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ «УМНЫХ ФАБРИК»

ПЕЛЛЕ СВЕНССОН (PELLE SVENSSON)

«Умные фабрики» — сложная среда использования беспроводной связи с постоянно расширяющимся кругом задач, которая побуждает к непрерывному развитию технологий Wi-Fi. Благодаря этому развитию стандарт Wi-Fi по-прежнему актуален даже на самых передовых предприятиях.

Изначально, когда Wi-Fi впервые интегрировался в производство, перед ним стояла простая задача — связать между собой два устройства. Сегодня ситуация совершенно иная. Можно провести такую аналогию: десять лет назад «умная фабрика» напоминала пустынную площадь, сейчас же она больше похожа на оживленный рынок. Место проведения то же самое, однако наполнение радикально изменилось. Как и на шумном рынке, эфирное пространство перегружено, и разработчикам устройств беспроводной связи приходится прилагать усилия, чтобы их продукция работала без конфликтов.

Беспроводные технологии продолжают развиваться, и стандарт Wi-Fi не является исключением. Стремительная цифровизация предприятий и новые варианты использования повышают спрос на Wi-Fi, с помощью которого, по оценкам, передается 45% глобального IP-трафика и 60–80% беспроводного трафика.

КАК РАЗВИВАЛИСЬ ТЕХНОЛОГИИ WI-FI

Прошло уже много времени с тех пор, когда максимальная скорость Wi-Fi составляла 54 Мбит/с. В 2009 году был представлен Wi-Fi 4, или IEEE 802.11n. Технология получила широкую известность благодаря высокой пропускной способности после задействования дополнительного диапазона 5 ГГц (IEEE 802.11a) и более высоких скоростей передачи данных в обоих диапазонах. Ускорению внедрения точек доступа Wi-Fi 4 способствовала их обратная совместимость с устройствами, использующими устаревшие версии технологии.

В 2013 году был анонсирован Wi-Fi 5, или IEEE 802.11ac. Это поколение достигло скорости 6,8 Гбит/с, причем работа была ограничена диапазоном 5 ГГц.

С выходом Wi-Fi 6 эффективность стандарта еще больше улучшилась, стала возможной беспроблемная обработка большего объема трафика

от большего числа клиентов (рис. 1), поэтому его также называют «высокопроизводительная беспроводная сеть» (High Efficiency Wireless, HEW).

Wi-Fi 6 удовлетворяет современным требованиям к высокой пропускной способности, обеспечивая работу на больших расстояниях, низкую задержку, минимальное энергопотребление, совместное использование и быструю передачу данных (около 10 Гбит/с).

С каждым поколением стандарта Wi-Fi его рабочие параметры улучшались, поэтому технология находила применение во все более сложных и требовательных системах. Рост спроса на выполнение тех или иных задач с помощью беспроводной связи стимулирует дальнейшее развитие Wi-Fi, в том числе для промышленного использования.

Первостепенное значение для сетей в условиях работы на производстве имеет высокая доступность — ведь простои приводят к потере доходов.

ТАБЛИЦА. РАЗВИТИЕ ПАРАМЕТРОВ WI-FI

Стандарт IEEE	Wi-Fi	Скорость передачи данных	Частота, ГГц	Полоса пропускания, МГц	Год окончания разработки
802.11a	–	54 Мбит/с	5	20	1999
802.11b	–	11 Мбит/с	2,4	20	1999
802.11g	–	54 Мбит/с	2,4	20	2003
802.11n	Wi-Fi 4	270 Мбит/с	2,4/5	20/40	2009
802.11ac	Wi-Fi 5	7 Гбит/с	5	20/40/80/160	2013
802.11ax	Wi-Fi 6	10 Гбит/с	2,4/5/6	20/40/80/160	2019
802.11be	Wi-Fi 7	40 Гбит/с	2,4/5/6	20/40/80/160/320	2023

Для обеспечения высокой доступности требуется повышение устойчивости к помехам, что актуально для переполненного радиочастотными сигналами эфирного пространства, а также высокая пропускная способность для сокращения времени передачи и освобождения полосы пропускания после обмена каждым пакетом данных. Еще одно требование — масштабируемость, или возможность подключения дополнительных клиентов к сети без добавления точек доступа. Для систем автоматизации производственных процессов, особенно на сложных производственных линиях, необходимо более быстрое время отклика.

Другая немаловажная функция — бесшовный роуминг — ускоренное переключение беспроводных клиентов между точками доступа. К сетям подключается все больше движущихся устройств — от роботов до интеллектуальных электроинструментов, поэтому важно избежать длительных попыток повторного подключения, когда устройство попадает в зону действия новой точки доступа.

Наконец, для упрощения эксплуатации и снижения связанных затрат необходимы простой монтаж оборудования, его настройка и техническое обслуживание.

ПЯТЬ ПРЕИМУЩЕСТВ WI-FI 6

Если после выхода Wi-Fi 4 говорили, что он обеспечивает «высокую пропускную способность», а про Wi-Fi 5 «очень высокую пропускную способность», то при анонсе Wi-Fi 6 в 2018 году акцент был смещен в сторону «высокой эффективности». Действительно, увеличение скорости работы с 6,8 до 9,6 Гбит/с не выглядит столь впечатляющим, как скачок в предыдущем релизе стандарта (табл.). Для Wi-Fi 6 характерно более качественное использование доступного сетевого канала, что позволяет взаимодействовать с большим количеством клиентов без снижения производительности сети. Этого удалось добиться благодаря следующим технологическим нововведениям:

- Многопользовательский множественный доступ с ортогональным разделением частот (Multi-user orthogonal frequency division multiple access, MU-OFDMA) — технология, используемая для разделения доступной полосы пропускания на отдельные ресурсные единицы различного размера, что добавляет гибкости при одновременном обслуживании нескольких клиентов. MU-OFDMA увеличивает коли-

чество клиентов, которых может обслуживать фиксированное количество точек доступа, в 4 раза.

- Система многопользовательского множественного ввода/вывода (Multi-user multiple input multiple output, MU-MIMO) позволяет точкам доступа направлять уникальные потоки данных нескольким клиентам одновременно, как по восходящей, так и по нисходящей линиям связи.
- Модуляция 1024-QAM позволяет каждому символу (единица передачи данных) вмещать 10 битов вместо восьми. Это означает прирост к скорости до 25% по сравнению с модуляцией 256-QAM у стандарта Wi-Fi 5.
- Система BSS Coloring для идентификации каналов «по цвету» и обеспечения отсутствия помех.
- Механизм TWT — пробуждение устройств по таймеру только тогда, когда требуется собрать данные. Помогает сохранить заряд батареи и повысить автономность питания.

Кроме увеличения числа клиентов, эти технологии увеличивают пропускную способность и выполняют другие функции. MIMO, например, вместо того чтобы разделять полосу пропускания для обслуживания нескольких устройств, может объединить несколько потоков для одного клиента. MU-OFDMA также помогает избежать перегруженности сети (распространенная проблема в плотных сетях), что способствует получению данных с минимальной задержкой. Благодаря функции TWT точка доступа может управлять устройствами и переводить их в режим с низким энергопотреблением с заранее запланированным временем пробуждения. Это особенно полезно при работе с беспроводными датчиками, отправляющими собранную информацию короткими сессиями по расписанию, в итоге время автономной работы значительно увеличивается.

WI-FI 6Е С РАБОТОЙ НА ЧАСТОТЕ 6 ГГц

Для обхода главного ограничения Wi-Fi — доступной частоты регулируемыми органами было выдано разрешение на использование нижней полосы частоты 6 ГГц без обязательного лицензирования. Новый стандарт получил название



РИС. 1. ►

Wi-Fi 6 может охватывать большее количество клиентов на более высокой скорости, чем Wi-Fi 4 или Wi-Fi 5

Wi-Fi 6E, и с его помощью удалось открыть большое число неперекрывающихся каналов, обеспечив более стабильное и надежное беспроводное соединение. По оценкам, ширина диапазона у Wi-Fi 6E может быть больше в 2 раза, нежели ранее доступная на диапазонах 2,4 и 5 ГГц. Поскольку новый стандарт все еще не столь распространен, работа с Wi-Fi 6E характеризуется с уменьшенным количеством помех¹.

5 СИСТЕМ, В КОТОРЫХ ПОМОГАЕТ WI-FI 6E

Wi-Fi стал основой «умных фабрик» и часто дополняется технологией Bluetooth, а также проприетарными технологиями сотовой связи. Вот в каких технических системах сегодня незаменим Wi-Fi 6 (рис. 2):

- **Промышленные сенсорные сети.** Датчики с беспроводным подключением получили широкое распространение на производстве. Они используются в различных целях, например для мониторинга степени вибрации или измерения температуры. Часто датчики работают на энергосберегающих протоколах связи, таких как Bluetooth LE или IEEE 801.15.4. Низкое энергопотребление Wi-Fi 6 обеспечивается за счет того, что устройства переходят в спящий режим на длительное время с помощью функции TWT. Снижение энергопотребления датчиков повышает их автономность по питанию, упрощая техническое обслуживание. В то же время отключение устройств снижает насыщенность эфирного пространства.
- **Управление транспортерами.** Улучшенное время отклика и качество обслуживания, предоставляемого OFDMA, делает Wi-Fi 6 многообещающей технологией беспроводной связи для использования в системах управления транспортерами.
- **Человеко-машинный интерфейс (HMI).** Точки доступа Wi-Fi 6 способны взаимодействовать с большим количеством устройств, что в сочетании с низким временем задержки делает Wi-Fi 6 перспективной технологией для простого создания HMI на базе обычных планшетов или устройств дополненной реальности.
- **Дополненная реальность (AR).** Естественным витком развития HMI, применяющих стандарт-



РИС. 2. ▲ Системы, от которых зависит «умная фабрика»

ные графические пользовательские интерфейсы, стала технология дополненной реальности. Вне зависимости от имеющегося устройства — планшета либо специальных очков AR — позволяет визуализировать любую информацию: документацию, чертежи, промышленные мнемосхемы. AR позволяет инженерам схематично оценивать работу промышленных машин и выявлять возникшие проблемы, не прерывая производственный процесс.

- **Ячеистые сети.** Существует множество вариантов использования технологии ячеистых сетей в промышленности, например для централизованного управления интеллектуальным освещением на объекте или сбора данных с датчиков с последующей обработкой в облачном сервисе. Несмотря на то что Bluetooth по-прежнему остается предпочтительной беспроводной технологией для передачи данных в таких процессах, Wi-Fi лучше адаптирован для окончательного этапа передачи от шлюза к облаку. Еще предстоит выяснить, удастся ли благодаря низкому энергопотреблению Wi-Fi 6 проложить путь к более широкому внедрению ячеистых сетей с помощью Wi-Fi в промышленности.

ДРУГИЕ ВАРИАНТЫ ПРОИЗВОДЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ WI-FI 6

Несмотря на то что Wi-Fi 6 превосходит Wi-Fi 4 практически по всем показателям, существует большое количество оборудования, кото-

рое отлично работает на базе более старой версии беспроводной связи. В этом случае выгода для предприятия извлекается из более низкой стоимости Wi-Fi 4 и упрощенной разработки.

Работы по повышению производительности технологии Wi-Fi не прекращаются, ориентировочно после 2024 года ожидается выпуск Wi-Fi 7. По данным организаций IEEE и Wi-Fi Alliance, которые руководят разработкой данного стандарта, в Wi-Fi 7 будет уделено большое внимание качеству передачи видео, включая детерминированную задержку, высокую надежность и качество обслуживания (QoS). В новом поколении Wi-Fi пропускная способность будет в 3 раза выше (30 Гбит/с) благодаря расширенным каналам (до 320 МГц) и более высокому порядку модуляции QAM.

ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ WI-FI

Поскольку «умных фабрик» становится все больше, остается зависимость промышленных технологий от стандартов беспроводной связи, основанных на Wi-Fi, Bluetooth, 4G LTE, 5G и других протоколах. Такие функции Wi-Fi 6, как более высокая скорость передачи данных, меньшие задержки, меньшее энергопотребление, увеличенная пропускная способность сети и расширенный радиус охвата, потенциально могут увеличить технологические возможности на «умных фабриках». ●

¹ По состоянию на февраль 2023 года стандарт Wi-Fi 6E не доступен в России. Частота 6 ГГц у нас используется для работы средств фиксированной радиосвязи и радиорелейных линий связи. Госкомиссия по радиочастотам в РФ на заседании 23 декабря 2022 года приняла решение выделить диапазон 5,9–6,4 ГГц для стандарта связи Wi-Fi 6E в закрытых помещениях, однако точные сроки реализации до сих пор не известны. — Прим. пер.