

# Беспроводные технологии для промышленных коммуникаций



Краткий справочник по различным беспроводным технологиям



## Содержание

<b>1 Введение</b> .....	<b>3</b>
1.1 Зачем использовать беспроводную связь вместо традиционного кабеля?.....	3
<b>2 Какую технологию беспроводной связи выбрать?</b> .....	<b>4</b>
<b>3 Bluetooth</b> .....	<b>5</b>
3.1 Технология "Classic Bluetooth" .....	5
3.2 Некоторые факты о Bluetooth Classic .....	6
3.3 Bluetooth Low Energy.....	6
3.4 Некоторые факты о Bluetooth Low Energy и сравнение с Bluetooth Classic.....	6
3.4.1 Энергопотребление.....	7
3.4.2 Время установки соединения.....	7
3.4.3 Надёжность передачи данных.....	7
3.4.4 Пропускная способность.....	7
3.4.5 Количество узлов.....	7
3.4.6 Реклама (Advertising).....	7
3.4.7 Программная структура.....	7
3.4.8 Таблица сравнения.....	8
<b>4 Wi-Fi (Wireless LAN)</b> .....	<b>8</b>
4.1 Эволюция Wi-Fi .....	9
4.2 Некоторые факты о Wireless LAN.....	9
4.3 Что нового в Wi-Fi 6 и зачем он нужен.....	10
4.3.1 Wi-Fi становится быстрее.....	10
4.3.2 Низкое энергопотребление.....	11
4.3.3 Лучшая производительность в плотных сетях.....	11
4.3.4 Общая производительность сети.....	12
4.3.5 Различие между Wireless LAN 2.4 ГГц и 5.0 ГГц .....	13
4.3.6 Wi-Fi HaLow (802.11ah) .....	13
<b>5 IEEE 802.15.4 (ZigBee, WirelessHART, ISA SP-100)</b> .....	<b>13</b>
<b>6 IO-Link Wireless</b> .....	<b>14</b>
<b>7 Протоколы функциональной безопасности по беспроводным каналам связи</b> .....	<b>14</b>
<b>8 Сосуществование разных технологий</b> .....	<b>15</b>
8.1 Сосуществование разных технологий в диапазоне 2.4 ГГц.....	16
8.2 Как организовать устойчивую связь при сильных помехах в диапазоне 2,4 ГГц.....	17
8.2.1 Использование Wi-Fi 5 ГГц.....	17
8.2.2 Аппаратные решения .....	17
8.2.3 Планирование частот.....	17
8.2.4 Адаптивная перестройка частоты (AFH).....	17
<b>9 Вывод: Какую технологию следует выбрать?</b> .....	<b>18</b>
9.1 Выбирайте универсальное оборудование.....	18
<b>10 Источники</b> .....	<b>18</b>

# Wireless technologies for industrial communication

## 1 Введение

Беспроводная связь для сложных условий применения не является чем-то новым. Беспроводная связь существует уже более 40 лет, правда с использованием фирменных радиостанций. Однако с модернизацией промышленных сетей и появлением различных протоколов Ethernet и промышленного Интернета вещей (IIoT) возрос спрос на стандартизированные беспроводные технологии.

В последние несколько лет такие стандарты, как Wi-Fi (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE 802.15.1) и Zigbee, стали доминирующими беспроводными технологиями.

В этом техническом документе сравниваются различные широкодоступные беспроводные технологии, чтобы вы могли найти решение, которое лучше всего подходит для вашего приложения. Эта статья посвящена радиосвязи "малой дальности", то есть для типичных расстояний передачи от нескольких сантиметров до примерно 400 метров. Это также означает, что в документе игнорируются решения для глобальной сети (WAN) и глобальной сети с низким энергопотреблением (LPWAN), таких как сотовые сети на базе операторов (например, 2G, 3G, LTE 4G, NB-IoT, CAT-M1 и 5G NR), а также решения для специализированных узкополосных сетей (например, Sigfox и LoRa).

**Martin Falkman**, Product Manager Wireless, HMS Networks AB, August 2020

### 1.1 Зачем использовать беспроводную связь вместо традиционного кабеля?

- Обеспечивается мобильность и большая свобода перемещений
- Использование в труднодоступных местах, подключение движущихся устройств
- Устранение необходимости прокладки дорогостоящего кабеля
- Быстрая и простая установка и ввод в эксплуатацию
- Высокая гибкость при изменении места установки
- Повышение личной безопасности в опасных зонах (например, при необходимости подъема на кран) за счет предоставления возможности дистанционного управления с большего расстояния, чем это может быть в случае с кабелем.
- Простая интеграция устройств в сеть



## 2 Какую технологию беспроводной связи выбрать?

Не возможно реализовать все функции и получить преимущества, необходимые для решения различных задач, используя только одну беспроводную технологию. Стандартизированные беспроводные технологии, включая Wi-Fi, 802.15.4, классический Bluetooth или Bluetooth Low Energy, а также множество фирменных технологий - все они отвечают различным требованиям. Это может быть или высокая пропускная способность или надежность или низкая мощность.

Wi-Fi часто используется для уровня планирования производства и для сбора данных, а также в приложениях, где требуется быстрый роуминг между базовыми станциями. Bluetooth обычно используется для человеко-машинного интерфейса (HMI), программирования, обслуживания и задач управления технологическими процессами. В течение последних нескольких лет другие технологии, такие как Bluetooth Low Energy, все чаще используются для датчиков, исполнительных механизмов и других небольших устройств, которые необходимо подключить к системе.

Используйте Wi-Fi если:	Используйте Bluetooth если:
<p><b>а) Требуется передавать большие файлы</b> - это связано с реальной пропускной способностью сети: для Wi-Fi - около 20 Мбит/с, а для Bluetooth classic - около 700 Кбит/с.</p> <p><b>б) Нужна высокая скорость передачи данных</b> - это так же связано со скоростью сети, см. выше.</p> <p><b>с) Имеется возможность заранее выбрать канал, в котором нет помех от других радиоизлучающих устройств</b> - Wi-Fi активно не отслеживает помехи и не переключает каналы на лету. - Wi-Fi использует каналы широкого спектра с шириной канала 20, 40 и 80 МГц. Это означает, что связь занимает более широкий частотный диапазон, который потенциально содержит больше помех. - другие близлежащие сети Wi-Fi на тех же или на соседних каналах негативно</p>	<p><b>а) На обоих концах беспроводной линии используется оборудование одного бренда</b> - инструменты/драйверы для настройки и обеспечения связи по Bluetooth могут быть несовместимы, если устройства от разных производителей. Рекомендация основана на реальном жизненном опыте, но, возможно, проблема будет решена со временем, по мере развития технологии.</p> <p><b>б) Требуемая скорость передачи данных невысока</b> - Bluetooth classic обеспечивает типичную пропускную способность 800 Кбит/с при передаче данных TCP/IP. Это полностью подходит для многих приложений, но слишком мало для более требовательных приложений, таких как, например, потоковое видео.</p>





Используйте Wi-Fi если:	Используйте Bluetooth если:
<p>повлияют на производительность, если это не учитывается при настройке сети.</p> <p>- Wi-Fi 2,4 ГГц использует перекрывающиеся каналы. Только каналы 1, 6 и 11 являются непересекающимися в частотном спектре. Если в близлежащих сетях используются другие каналы (ваша Wi-Fi сеть по частотам пересекается с другой Wi-Fi сетью), то пропускная способность может падать в разы, поскольку точки доступа и клиенты не могут полноценно использовать метод CSMA/CA (избежание коллизий), что приводит к большому количеству повторных передач.</p> <p><b>d) Необходима радиосвязь между устройствами разного типа, например, с планшетами/ПК/ телефонами</b></p> <p>- драйверы и инструменты настройки на ПК, смартфонах, планшетах и других устройствах широко используются и проверены временем.</p>	<p><b>с) Допустимое время цикла ввода-вывода более 32 мс</b></p> <p>- это связано с теми же ограничениями, описанными в пункте b выше.</p> <p><b>d) Требуется надежная связь без перебоев в промышленных условиях с большим количеством помех.</b></p> <p>- Bluetooth изначально разрабатывался для обеспечения надежной передачи данных в условиях работы других устройств радиосвязи. Основными причинами этого являются использование AFH (Адаптивная перестройка частоты) и узкополосные каналы (шириной 1 МГц)</p>

## 3 Bluetooth

### 3.1 Технология "Classic Bluetooth"

Технология Bluetooth (IEEE 802.15.1) хорошо подходит для беспроводной интеграции устройств автоматизации в последовательные сети (RS-232/485), сети Fieldbus и Ethernet. И особенно - для устройств с высокими требованиями к компактности и энергопотреблению.

# Wireless technologies for industrial communication

## 3.2 Некоторые факты о Bluetooth Classic

- Дальность действия от нескольких сантиметров до 400 метров (с модулем дальнего действия).
- Циклическая и быстрая передача небольших пакетов данных.
- Максимальная пропускная способность 780 кбит/с. Bluetooth v4.0+EDR (Повышенная скорость передачи данных) обеспечивает пропускную способность до 2,1 Мбит/с.
- Задержка 10-15 мс.
- Функции безопасности (128-битное шифрование) для обеспечения защиты от перехвата данных.
- Высокая плотность системы, т.е. несколько беспроводных устройств могут работать рядом безупречно.
- Функции обеспечения надежности: адаптивная перестройка частоты (AFH), прямая коррекция ошибок (FEC), узкие частотные каналы (1 МГц) и низкая чувствительность к отраженному сигналу.
- Высокая доступность для пользователя (есть в телефонах, планшетах, ноутбуках и т.д.).

## 3.3 Bluetooth Low Energy

Bluetooth Low Energy (с низким энергопотреблением) был представлен в 2011 году. Эта технология имеет как ограничения, так и преимущества, и сильно отличается от классического Bluetooth:

- Технология Bluetooth LE идеально подходит для эпизодической или периодической передачи небольших объемов данных.
- При передаче потоковых данных предпочтительней использовать классическую технологию Bluetooth, поскольку она обеспечивает значительно большую пропускную способность, чем технология Bluetooth LE.
- Bluetooth Classic более доступен для пользователя и используется во множестве бытовых устройств (планшеты, телефоны и пр.).
- Bluetooth Low Energy широко применяется в различных областях промышленности. Ведущим вариантом применения являются миниатюрные неразборные датчики высокого класса пылевлагозащиты на батарейках (температура, давление, вибрация, ускорение и т.д.), которые через 2-3 года, после разряда батарейки, просто заменяются новыми.

# Wireless technologies for industrial communication

## 3.4 Некоторые факты о Bluetooth Low Energy и сравнение с Bluetooth Classic

### 3.4.1 Энергопотребление

Устройство Bluetooth Low Energy большую часть времени находится в спящем режиме. Пиковое энергопотребление составляет 15 мА, а среднее - всего около 1 мкА.

### 3.4.2 Время установки соединения

Устройство Bluetooth Low Energy пробуждается только при запуске связи, затем за несколько миллисекунд выполняется передача, после чего устройство возвращается в спящий режим.

### 3.4.3 Надёжность передачи данных

Технология Bluetooth Low Energy унаследовала многие функции классической технологии, включая адаптивную перестройку частоты (AFH), а также частично протокол управления логическими связями и адаптацией (L2CAP).

### 3.4.4 Пропускная способность

Скорость передачи данных Bluetooth Classic с использованием технологии повышения скорости передачи данных (Bluetooth v2.1+ EDR) может превышать 2 Мбит/сек, а для технологии Bluetooth Low Energy практическая скорость передачи данных не выше 100 кбит/сек

### 3.4.5 Количество узлов

Как и Bluetooth Classic, Bluetooth LE использует ведущее устройство, к которому подключено несколько ведомых устройств. Однако в Bluetooth LE количество ведомых устройств может быть намного больше, до нескольких сотен, если использовать метод Connect-Communicate-Disconnect

### 3.4.6 Advertising

Функция "Advertising" технологии Bluetooth LE позволяет устройству заранее объявлять, что ему есть что передать другим устройствам. "Рекламные" Advertising-сообщения могут сразу содержать флаг события или значение измерения.

### 3.4.7 Программная структура

Состояние устройства Bluetooth LE представляется в виде одного или нескольких значений, называемых атрибутами. Протокол к доступ к этим атрибутам называется Протоколом Атрибутов (ATT). ATT определяет связь между двумя устройствами, играющими роли сервера и клиента и предоставляет процедуры для чтения, записи и подтверждения значений атрибутов по этому соединению.



### 3.4.8 Таблица сравнения

Степени сравнения: Плохо - Удовлетворительно - Хорошо - Превосходно

	Classic Bluetooth	Bluetooth Low Energy
Пропускная способность (net)	1,5 Mbps	~100 kbps
Надёжность	Хорошо	Хорошо
Дальность связи	400 м	250 м
Плотность системы	Хорошо	Превосходно
Крупномасштабная сеть	Плохо	Хорошо
Задержка	Удовлетворительно	Плохо
Время соединения	Плохо	Хорошо
Энергопотребление	Хорошо	Превосходно
Стоимость	Хорошо	Превосходно

## 4 Wi-Fi (Wireless LAN)

Wi-Fi (Wireless LAN IEEE 802.11) хорошо подходит для мониторинга, настройки и сбора данных, но также может использоваться при определенных условиях для управления в реальном времени. Встроенная функция роуминга полезна при работе с движущимися устройствами.

В 2018 году Альянс Wi-Fi принял новую, более удобную для пользователя, схему именования для различных стандартов 802.11. Вместо обозначений 802.11 с различными суффиксами из букв, сейчас после обозначения Wi-Fi добавляется одно число. Тогда же использование слова "Wi-Fi" стало бесплатным и нелицензированным.



# Wireless technologies for industrial communication

## 4.1 Эволюция Wi-Fi

Это самые известные и распространенные версии Wi-Fi, и во всём мире они де-факто стали стандартами. Существует множество других подверсий Wi-Fi, дополняющих приведенный ниже список, но они менее известны и не так широко используются.

Краткое наимен.	IEEE стандарт	Год появления на рынке	Частоты	Макс. скорость
Wi-Fi 1 *	802.11b	1999	2,4 GHz	11 Mbit/s
Wi-Fi 2 *	802.11a	2003	5 GHz	54 Mbit/s
Wi-Fi 3 *	802.11g	2003	2,4 GHz	54 Mbit/s
Wi-Fi 4	802.11n	2009	2,4 and 5 GHz	600 Mbit/s
Wi-Fi 5	802.11ac	2014	5 GHz	1300 Mbit/s (1,3 Gbit/s)
Wi-Fi 6	802.11ax	2019	2,4 and 5 GHz	11000 Mbit/s (11 Gbit/s)

**Note\*:** неофициальные названия, не являются брендом Wi-Fi Alliance

## 4.2 Некоторые факты о Wireless LAN

- Дальность около 200 метров в диапазоне 2,4 ГГц (до 500 метров в прямой видимости) и около 50 метров в диапазоне 5 ГГц (до 150 метров в прямой видимости) - препятствия и помехи могут существенно снизить дальность. Обратите внимание, что большие расстояния ведут к снижению скорости передачи данных, поэтому при планировании сети необходимо учитывать количество подключенных устройств и их расположение. В плотной сети, вероятно, точки доступа придется размещать на расстоянии менее 50 метров друг от друга.
- Используются технологии безопасности WEP, WPA, WPA2, а Wi-Fi 6 использует ещё и WPA3.  
**Примечание по WPA3:** WPA3 - это новый стандарт безопасности Wi-Fi, который заменяет устаревший WPA2, использующийся с 2004 года. WPA3, даже если вы используете слабый пароль, защищает вас от атак методом перебора паролей. В общественных сетях WPA3 использует "индивидуальное шифрование", т.е. каждый пользователь будет находиться на отдельном частном канале. WPA3 использует усовершенствованный 192-разрядный криптографический стандарт для усиления шифрования в ресурсных сетях правительственных организаций.
- Высокая распространённость, в том числе в бытовых устройствах



### 4.3 Что нового в Wi-Fi 6 и зачем он нужен?

Рис.1 показывает эволюцию стандартов Wi-Fi с 1999 по 2019 год: улучшение производительности (высота столбца) и расширение сферы применения

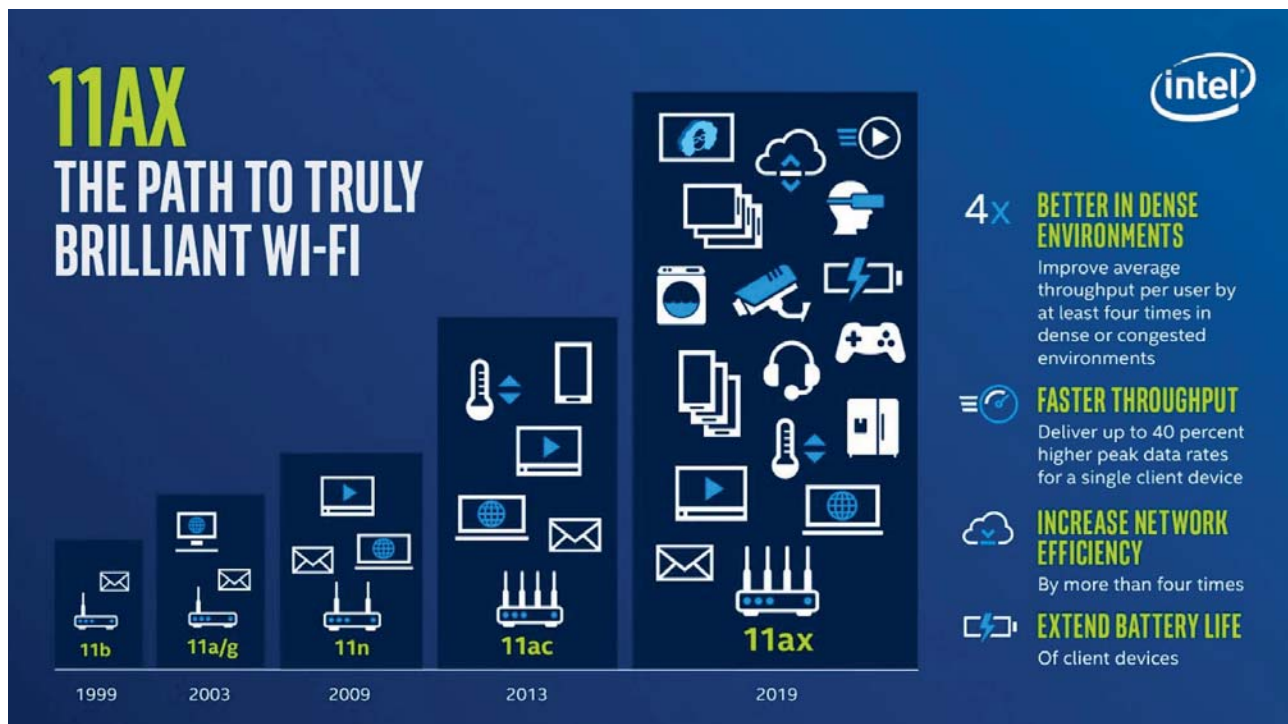


Рис. 1 Эволюция Wi-Fi 6 (802.11ax)

#### 4.3.1 Wi-Fi становится быстрее

Каждый новый стандарт Wi-Fi обеспечивает более высокую скорость передачи данных. Для маршрутизатора Wi-Fi с одним устройством при использовании Wi-Fi 6 с частотой 5 ГГц максимальная потенциальная скорость должна быть на 40% выше по сравнению с Wi-Fi 5.

Высокая скорость Wi-Fi 6 обеспечивается за счет более эффективного кодирования данных, т.е. в одни и те же посылки упаковывается больше данных. Чипы, которые кодируют/декодируют данные, становятся все более мощными и выполняют эту работу всё более эффективно.

Wi-Fi 6 так же увеличивает скорость и в сетях с частотой 2,4 ГГц. При общей тенденции перехода на Wi-Fi с частотой 5 ГГц для уменьшения помех, сигнал 2,4 ГГц по-прежнему лучше преодолевает твердые объекты (более подробно об этом в Разделе 8).



### 4.3.2 Низкое энергопотребление

Новая функция "время целевого пробуждения" (TWT) обеспечивает более длительное время автономной работы для вашего смартфона, ноутбука и др. устройств, подключенных к Wi-Fi 6.

Когда точка доступа "разговаривает" с устройством (например, с вашим смартфоном), она может точно указать устройству, когда перевести его Wi-Fi-модуль в режим сна и когда именно его разбудить для приема следующей передачи. Это позволит сэкономить электроэнергию, так как Wi-Fi-модуль может проводить больше времени в спящем режиме.

Это важное улучшение для маломощных устройств "Интернета вещей" на батарейках.

### 4.3.3 Лучшая производительность в плотных сетях

Wi-Fi имеет тенденцию "зависать", когда вы находитесь в людном месте с большим количеством устройств Wi-Fi (аэропорт, торговый центр или большой офис, где все подключены к Wi-Fi). У вас, вероятно, будет очень медленный Wi-Fi.

Wi-Fi 6 включает в себя множество новых технологий, которые улучшают среднюю скорость для каждого пользователя как минимум в четыре раза в перегруженных сетях с большим количеством подключенных устройств.

Это относится не только к оживленным общественным местам, но и к предприятиям, на которых используется много устройств, подключенных к Wi-Fi.

### 4.3.4 Общая производительность сети

В условиях высокой загрузки точка доступа Wi-Fi 6 с устройствами Wi-Fi 6 будет работать лучше: Wi-Fi 6 теперь может разделить беспроводной канал на множество подканалов.

Каждый из этих подканалов может работать параллельно с другими. Это достигается с помощью так называемого множественного доступа с ортогональным частотным разделением (OFDMA). Проще говоря, точка доступа Wi-Fi 6 может общаться сразу с несколькими устройствами.

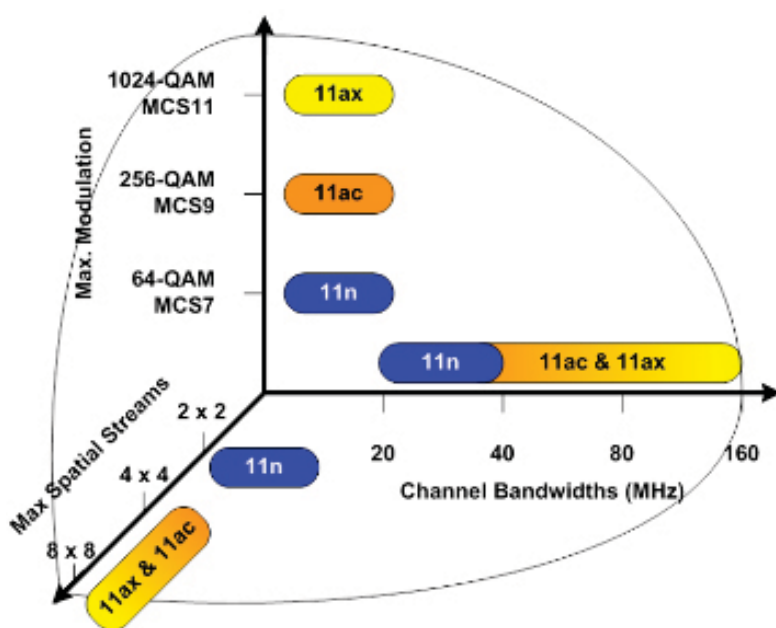


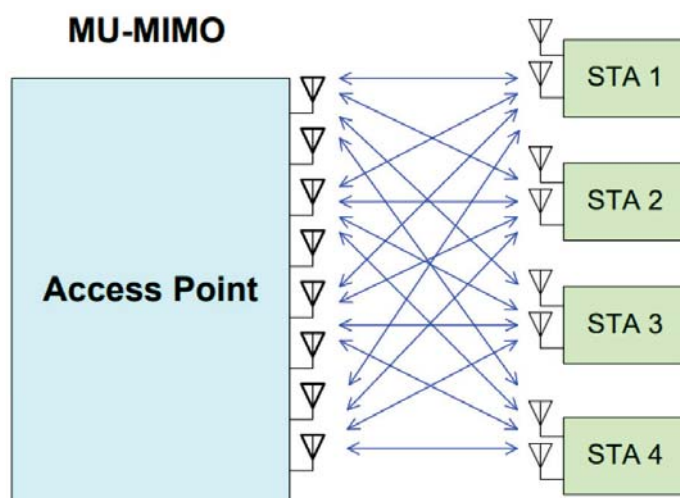
Рис. 2 Ортогональное разделение (источник: Liang Jin, Spirent)

# Wireless technologies for industrial communication

Wi-Fi 6 также улучшил технологию MIMO (Множественный вход/выход). Используется несколько антенн, которые позволяют точке доступа общаться сразу с несколькими устройствами. В Wi-Fi 5 точка доступа тоже могла отправлять сообщения на несколько устройств одновременно, но эти устройства не могли отвечать одновременно. Wi-Fi 6 использует многопользовательскую версию MIMO (MU-MIMO), которая позволяет устройствам одновременно связываться с точкой доступа.

С помощью MU-MIMO можно добавлять новые клиентские устройства в сеть без снижения скорости передачи данных для существующих клиентов.

Точки беспроводного доступа Wi-Fi 5, расположенные рядом друг с другом, могут использовать один и тот же канал для передачи данных. В этом случае точка ждет четкого сигнала, прежде чем ответить, и это дает задержку. С помощью Wi-Fi 6 точки могут быть настроены так, чтобы иметь разные номера базового набора услуг (BSS).



**Рис. 3** Несколько клиентов одновременно используют одни и те же частотно-временные ресурсы

Устройство проверяет, чист ли канал (прослушивает его), и выделяет передачу со слабым сигналом и другим номером BSS. Устройство может игнорировать этот сигнал и начать свою передачу, не дожидаясь освобождения канала. Эта технология улучшает производительность в перегруженных сетях и называется "повторное использование пространственной частоты".

Новый Wi-Fi 6 также включает в себя множество других небольших улучшений. Например, Wi-Fi 6 использует улучшенное формирование луча (изменение диаграммы направленности).



## Wireless technologies for industrial communication

### 4.3.5 Различие между Wireless LAN 2.4 ГГц and 5.0 ГГц

По мере расширения использования беспроводных технологий в диапазоне 2,4 ГГц стали возникать проблемы с помехами и интерференцией. Для решения этой проблемы Wi-Fi Alliance ввёл новый частотный диапазон – 5.0 ГГц. Изначально предполагалось, что компании будут использовать диапазон 2,4 ГГц для офисных и ИТ-коммуникаций, а диапазон 5.0 ГГц - для производственных и M2M-коммуникаций. Однако по факту диапазон 5.0 ГГц широко используется в офисной и бытовой электронике.

- Так называемый свободный ISM диапазон 2,4 ГГц содержит 10 перекрывающихся каналов, равномерно распределенных по частотам от 2400.0 до 2483.5 МГц и плюс три неперекрывающихся канала (1, 6 и 11). В этой полосе частот функционируют Wi-Fi, Bluetooth, 802.15.4, Zigbee, а также микроволновые печи, что создает высокий уровень помех.
- Диапазон ISM 5.0 ГГц разделен на поддиапазоны, называемые полосами U-NII (U-NII-1, U-NII-2 и U-NII-3). В общей сложности имеется 23 неперекрывающихся канала, но некоторые из них могут иметь ограничения на использование в зависимости от национального законодательства. Диапазон менее загружен и в нём меньше помех.

### 4.3.6 Wi-Fi HaLow (802.11ah)

Стандарт 802.11ah (также известный как Wi-Fi HaLow) определяет работу безлицензионных сетей в полосах частот ниже 1 ГГц (обычно в диапазоне около 900 МГц), за исключением полос телевидения. Целью введения 802.11ah является создание сетей Wi-Fi дополнительного диапазона, которые выходят за рамки обычных сетей в диапазоне 2,4 ГГц и 5 ГГц (к тому же более низкая частота означает большую дальность), со скоростью передачи данных до 347 Мбит/с. Кроме того, стандарт предполагает снижение энергопотребления, что полезно для устройств Интернета вещей для связи на больших расстояниях. Также он может конкурировать с технологиями Bluetooth из-за более низких потребностей в энергии. Протокол был утвержден в сентябре 2016 года однако всё еще не получил широкого распространения.

## 5 IEEE 802.15.4 (ZigBee, WirelessHART, ISA SP-100)

Протоколы ZigBee, WirelessHART и ISA SP-100 широко используются в промышленных приложениях и все они основаны на стандарте IEEE 802.15.4. Технологии 802.15.4 в основном используются для автоматизации технологических процессов и зданий, а функции низкого энергопотребления делают его хорошо подходящим для устройств, работающих от батарей. Технология также предлагает возможность создания ячеистой сети, которая позволяет охватывать широкие области, когда нет особых требований к задержке сигнала.







## 6 IO-Link Wireless

Стандарт IO-Link Wireless был представлена в 2018 году и представляет собой расширение проводного стандарта IO-Link на физическом уровне. Мастер IO-Link Wireless работает так же как и Мастер проводной системы IO-Link. Как и проводная версия IO-Link, IO-Link Wireless предназначен для передачи данных от датчиков или исполнительных механизмов на самом низком уровне в промышленной автоматизации (в цеху).

IO-Link Wireless использует ту же схему радиосвязи, что и Bluetooth LE. Это означает, что используется надежный и проверенный механизм адаптивной перестройки частоты (AFH) в диапазоне 2,4 ГГц с непрерывной оценкой контролируемых каналов.

## 7 Протоколы функциональной безопасности по беспроводным каналам связи

Протоколы на основе Ethernet для обеспечения функциональной безопасности, такие как CIP Safety (EtherNet/IP), PROFIsafe (PROFINET), openSAFETY (POWERLINK, Modbus-TCP) и другие, подходят для передачи по беспроводным каналам. Беспроводная связь будет туннелировать протокол с одного проводного конца на другой, таким образом, являясь частью принципа "Черный канал", используемого в этих протоколах.

**"Разве можно в принципе использовать беспроводную связь для обеспечения безопасности?"**

Можно. Но Разработчик должен учесть возможные проблемы из-за плавающего времени задержки. Система должна быть настроена на отказоустойчивость при потере беспроводного сигнала. Время ожидания системы должно быть достаточно большим, с учётом характеристик радиоканала.

**"Но как насчет защиты от взлома?"**

Что ж, изобретательность хакеров нельзя полностью игнорировать. Но взлом современных беспроводных сетей очень трудное дело. Сигналы с расширенным спектром (используемые, например, в Bluetooth) в сочетании с шифрованием останоят как любителей, так и большинство профессионалов. Конечно, это относится ко всей беспроводной связи, а не только к протоколам безопасности.



## Wireless technologies for industrial communication

В заключение следует отметить, что сомнения относительно использования беспроводной связи в промышленной автоматизации необоснованны, особенно в отношении функциональной безопасности. Иначе говоря, беспроводная связь не влияет на безопасность машины или системы. Определенный скептицизм в отношении долгосрочной надежности беспроводной связи и связанной с этим доступности оборудования вполне понятен. Однако многочисленные промышленные беспроводные системы уже много лет работают без каких-либо проблем и являются доказательством того, что беспроводная связь способна функционировать с оптимальной доступностью в долгосрочной перспективе. Все, что требуется, - это подходящее беспроводное решение для конкретной задачи и грамотное проектирование и установка.

### 8 Сосуществование разных технологий

Довольно часто параллельно используется несколько беспроводных технологий, потенциально они могут создавать друг для друга помехи, приводящие к увеличению задержки или даже к потере данных. Эти потенциальные побочные эффекты нельзя оставлять без внимания, особенно в важных промышленных и медицинских приложениях. Поэтому важно оптимизировать сосуществование различных беспроводных технологий, чтобы обеспечить их бесперебойную работу.

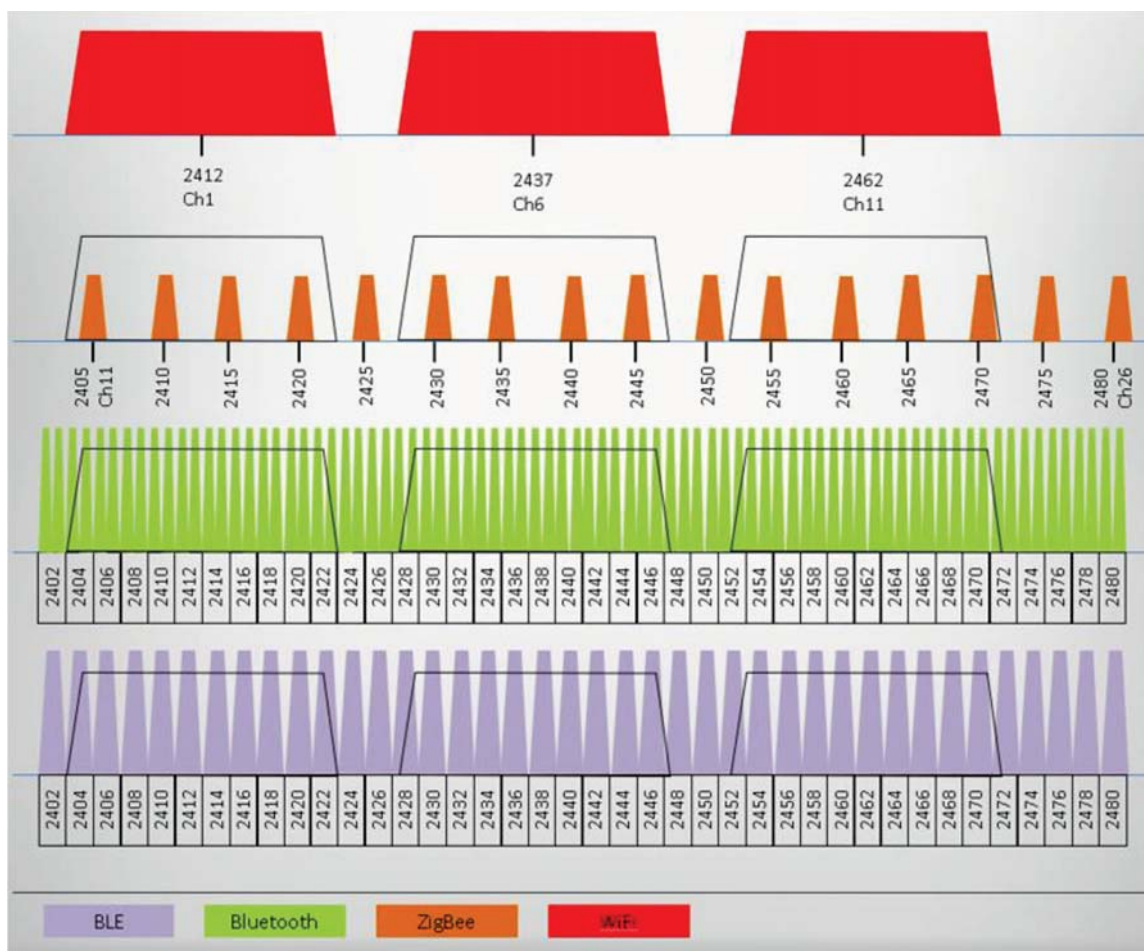
Все наиболее используемые на сегодняшний день беспроводные технологии работают в диапазоне 2,4 ГГц, но они по-разному устраняют потенциальные помехи:

- **Wireless LAN / Wi-Fi** стандарта 802.11b имеет три неперекрывающихся канала (1, 6 и 11) с полосой пропускания 22 МГц и использует спектр распространения прямой последовательности (DSSS). DSSS гарантирует, что передаваемый сигнал занимает большую полосу пропускания, чем модулируемый информационный сигнал, и, таким образом, беспроводная линия связи становится менее уязвимой для помех. Это применимо для стандарта 802.11b, но не применимо для стандарта 802.11a/g/n/ac, который использует OFDM с каналами шириной 20 МГц.
- **Classic Bluetooth** имеет 79 каналов с полосой пропускания 1 МГц и сочетает это с адаптивной перестройкой частоты (AFH), чтобы избежать помех. AFH отслеживает битрейт, и при обнаружении помех (например, рядом заработал передатчик Wi-Fi и забивает канал) Bluetooth прекращает использование занятых каналов, переключаясь на другие. Занятый канал отслеживается в фоновом режиме, и как только он освободится, его можно будет использовать снова.
- **Bluetooth Low Energy** также использует AFH, что обеспечивает надежную передачу в условиях "зашумленного" эфира. Для минимизации потребления энергии и ускорения соединения, количество каналов в Bluetooth LE сокращено до 40 при ширине каждого канала 2 МГц.



# Wireless technologies for industrial communication

## 8.1 Сосуществование разных технологий в диапазоне 2.4 ГГц



**Рис. 4** Bluetooth Low Energy, Bluetooth classic, ZigBee и Wi-Fi (IEEE 802.11) работают в одном диапазоне 2.4 ГГц

Как вы можете видеть на рисунке выше, полоса частот 2,4 ГГц очень переполнена. Помимо Wi-Fi, Bluetooth, IEEE 802.15.4/ ZigBee/WirelessHART, в диапазоне 2,4 ГГц может работать множество других устройств с проприетарными протоколами (беспроводные микрофоны и динамики, радиоуправляемые модели, сигнализации и пр.).

Еще одним интересным фактом является то, что микроволновые печи работают в том же частотном спектре, причём с мощностью, значительно превышающей максимальные пределы, предусмотренные упомянутыми выше стандартами радиосвязи. Конечно, современные микроволновые печи экранированы, но утечки излучения неизбежны. К счастью, микроволновые печи работают не постоянно. Но рядом с работающей микроволновкой сбои в работе Wi-Fi очень вероятны. Есть и другие устройства, использующие диапазон 2,4 ГГц: радиочастотные генераторы плазмы, вулканизаторы резины, ультрафиолетовые полимеризаторы.

# Wireless technologies for industrial communication

## 8.2 Как организовать устойчивую связь при сильных помехах в диапазоне 2,4 ГГц

### 8.2.1 Использование Wi-Fi с частотой 5 ГГц

Протоколы Wi-Fi IEEE 802.11 b/g используют полосу частот 2,4 ГГц, протоколы IEEE 802.11 a/ac используют полосу частот 5 ГГц, а протоколы IEEE 802.11 n/ax могут работать в обоих диапазонах частот. Для получения устойчивых каналов связи Wi-Fi без помех имеется возможность использовать полосу 5 ГГц вместо полосы 2,4 ГГц. Однако, несмотря на то, что диапазон 5 ГГц становится все более популярным в промышленных и медицинских приложениях, работает много сетей стандарта IEEE 802.11 b/g, для которых требуется другое решение проблемы помех.

### 8.2.2 Аппаратные решения

Для обеспечения бесперебойной связи для Wi-Fi в диапазоне 2,4 ГГц можно использовать специальные технические решения (например, направленные антенны, кабели с особым экраном), однако такие решения, как правило, являются дорогостоящими.

### 8.2.3 Планирование частот

Можно заранее распределить частоты между всеми системами (выбрать каналы, которые не будут использоваться в других системах).

Например, в случаях, когда Wi-Fi и WirelessHART (IEEE 802.15.4) используются параллельно, совместное функционирование может быть реализовано путем использования пространства для каналов WirelessHART между тремя каналами Wi-Fi. Таким образом, Wi-Fi и WirelessHART смогут надежно работать параллельно. Для Bluetooth эта функция реализуется при помощи чёрного списка каналов (blacklisting).

### 8.2.4 Адаптивная перестройка частоты (AFH)

И классический Bluetooth, и Bluetooth LE, и Wireless IO-Link - все они используют функцию адаптивной перестройки частоты (AFH), которая обнаруживает потенциально опасные помехи в канале. При обнаружении таких помех канал автоматически заносится в чёрный список и перестаёт использоваться. Т.к. помехи могут быть временными, система периодически проверяет каналы из чёрного списка, и, если помехи прекратились, канал может быть вновь использован.



# Wireless technologies for industrial communication

## 9 Вывод: Какую технологию следует выбрать?

Как уже было замечено выше, не существует универсальной технологии для промышленной беспроводной связи. В целом можно сказать, что если вам наиболее важна высокая пропускная способность передачи данных – выбирайте Wi-Fi. Если надежность/стабильность соединения или экономическая эффективность наиболее важны – выберите Bluetooth. Однако, если вам хочется и того и другого, то без подробного анализа задачи и условий использования не обойтись.

### 9.1 Выбирайте универсальное оборудование

Поскольку ваши требования могут измениться по мере изменения сетевой инфраструктуры, разумно выбрать беспроводное устройство, которое может поддерживать различные технологии. Таким образом, вы можете легко обновлять свою беспроводную инфраструктуру по мере изменения внешних условий эксплуатации.

Беспроводные устройства Anybus Wireless Bridge и Anybus Wireless Bolt от компании HMS Networks являются примером такого решения, обеспечивающего поддержку нескольких беспроводных технологий.

Больше информации можно найти на сайтах [www.anybus.com/wireless](http://www.anybus.com/wireless) и [www.industrialnets.ru/besprovodnye-setevye-mosty/](http://www.industrialnets.ru/besprovodnye-setevye-mosty/)

## 10 Источники

Wikipedia	<a href="http://www.wikipedia.com">www.wikipedia.com</a>
Wi-Fi Alliance	<a href="http://www.wi-fi.org">www.wi-fi.org</a>
Bluetooth	<a href="http://www.bluetooth.com">www.bluetooth.com</a>
IO-Link Wireless	<a href="http://www.io-link.com">www.io-link.com</a>
Intel	<a href="http://www.intel.com">www.intel.com</a>
Siemens	<a href="http://www.siemens.com">www.siemens.com</a>
Rockwell Automation	<a href="http://www.rockwellautomation.com">www.rockwellautomation.com</a>





Work with HMS Networks.  
The number one choice for  
industrial communication  
and IIoT.

**Anybus**®  
BY HMS NETWORKS

[www.hms-networks.com](http://www.hms-networks.com)  
[www.industrialnets.ru](http://www.industrialnets.ru)  
[www.anybus.ru](http://www.anybus.ru)