

# Вопросы проектирования беспроводной связи для IIoT

Оливер Монье (Olivier Monnier)  
Эран Зигман (Eran Zigman)  
Эмит Хаммер (Amit Hammer)

## Введение

Беспроводная связь, уже некоторое время преобладающая в бытовой электронике, быстро прокладывает себе путь в промышленный «Интернет вещей» (Industry Internet of Things, IIoT). Разработчики промышленных систем, освободившись от ограничений, налагаемых кабелями, открывают новые способы повышения эффективности и производительности, снижения стоимости и улучшения управления процессами и оборудованием. На самом деле единственным ограничением для применения промышленных беспроводных устройств является воображение разработчиков.

Вооруженный датчиками сверхнизкой мощности и устройствами беспроводной связи, а также микроконтроллерами (МКБ) высокой степени интеграции, IIoT быстро распространяется по всем традиционным промышленным рынкам, таким как автоматизация заводов и зданий, энергетическая инфраструктура, «умное» освещение, так же как и по непромышленным рынкам, связанным с автомобилями, розничной торговлей, здравоохранением и другими областями деятельности. Во многих случаях новые беспроводные устройства взаимодействуют с привычными

проводными системами и совершенствуют их, обеспечивая дополнительные ценные возможности, которые передаются по воздушным волнам вместо проводов. Например, то, что раньше было сложным человеко-машинным интерфейсом (НМИ), теперь может работать в виде удобного приложения в смартфоне или планшете в беспроводном IIoT. Более того, подключение к мощной «облачной» аналитике в режиме реального времени добавляет новое измерение для усложнения промышленных применений.

Проектировщикам систем, безусловно, приходится считаться с рядом факторов, обусловленных беспроводной связью. Сюда входят: выбор конкретной беспроводной технологии, наиболее подходящей для требований и обстоятельств использования устройства; потребность мощности и совместимости технологии с другими устройствами, например с датчиками, микроконтроллерами, шлюзами, серверами и т. д.; удобство встраивания беспроводной технологии в промышленное оборудование; связь через облако; безопасность.

## Переход к беспроводным технологиям должен быть простым

Встраивание беспроводной связи в промышленные системы в последние годы значительно упростилось благодаря введению одного за другим новых структурных элементов — датчиков низкой мощности, устройств беспроводной связи, микроконтроллеров, шлюзов и серверов. Разработчикам промышленных систем теперь доступно широкое разнообразие беспроводных технологий с различными возможностями и степенями интеграции (рис. 1). Например, некоторые поставщики технологий упростили включение беспроводной связи в промышленные системы, объединив возможности беспроводной связи с вычислительными возможностями МКБ. Это значительно снижает необходимость в том, чтобы разработчик промышленной системы был специалистом по методам проектирования радиочастотного (РЧ) оборудования, и предоставляет разработчикам мощный МКБ для запуска приложения или работы подсистемы. Некоторые из этих беспроводных МКБ содержат весь стек протоколов беспроводной связи, а также средства обеспечения безопасности.



Другие, альтернативные варианты большей степени интеграции включают в одно устройство все, что только можно, — связь через облако, протоколы беспроводных локальных сетей, средства обеспечения безопасности и другие возможности, пытаясь превратить введение беспроводной связи в простое подключение сменного модуля.

Помимо нужных устройств и возможностей, теперь у проектировщиков промышленных систем есть доступ к обширным вспомогательным экосистемам, предоставляемым некоторыми поставщиками беспроводных технологий. Наиболее полные экосистемы отличаются множеством наборов разработчика, поддержкой сообщества, базовыми решениями, уже встроенными стеками протоколов беспроводных сетей, инструментами разработчика приложений, интегрированными средами разработки (ИСР) для разработчиков программного обеспечения (ПО) и многими из программных и аппаратных модулей, которые обычно применяются в промышленных условиях (рис. 2).

Наиболее универсальные поставщики беспроводных технологий способны обеспечить сквозное взаимодействие между датчиками, промежуточными устройствами, промышленными протоколами наподобие RS-485, RS-232 и различными сетями Ethernet, работающими в режиме реального времени, и облаком. У таких поставщиков имеется упрощенное проектирование, заранее предусматривающее беспроводную связь, и в то же время они обеспечивают взаимодействие с облаком и разнообразными конечными узлами IoT.

### Промышленная беспроводная сеть: один размер не подойдет всем

К счастью, имеются разнообразные стандарты локальной беспроводной связи с широким ассортиментом возможностей и уникальными характеристиками. Это особенно полезно для разработчиков промышленных систем, потому что промышленные приложения охватывают широкий спектр условий использования, и каждый случай имеет собственный набор трудностей для преодоления. Например, разработчики интеллектуальной измерительной системы для коммунальной сети могут решить, что протокол беспроводной сети Sub-1 ГГц лучше всего подходит для этого применения. Другая группа проектировщиков, работающая над системой бытовой автоматизации, может предпочесть Wi-Fi из-за его совместимости с дистанционным управлением приборами.

### Дистанционный дисплей/ беспроводной HMI

До появления беспроводного IIoT, HMI для нового применения в области мониторинга потребовал бы обширных опытно-конструкторских работ и интеграции новой подсистемы и аппаратуры отображения. Теперь, когда есть беспроводные технологии низкой мощности, подобные Bluetooth Smart, работающие на батарейках датчики могут передавать данные мониторинга на такие устройства пользователей IoT, как смартфоны и планшетные ПК. Технические



Рис. 1. Примеры промышленных применений, где может быть реализована беспроводная связь

специалисты знакомы с устройствами такого типа и умеют с ними работать, поэтому кривая обучения короткая.

Системы освещения могут быть лучше приспособлены к ZigBee из-за его низкого энергопотребления, сетчатой топологии и широкой поддержки экосистем. 6LoWPAN может быть выбран разработчиками системы автоматизации производства, которые видят реальную выгоду в реализации сети узлов с адресами интернет-протокола (IP). Для некоторых систем может быть достаточной очень низкая мощность и ограниченная дальность коммуникаций ближнего поля (NFC) и Bluetooth Smart или фирменного протокола 2,4 ГГц.

Дело в том, что каждая беспроводная технология имеет свой собственный набор преимуществ. IIoT-приложение лучше всего обслуживается, когда преимущества определенной беспроводной технологии сочетаются с требованиями применения (рис. 3). Например, Bluetooth развернут во множестве пользовательских устройств, включая смартфоны и планшеты.

Поэтому промышленное приложение, поддерживающее Bluetooth Smart, имело

бы прямую совместимость с множеством пользовательских устройств. 6LoWPAN потребляет настолько мало энергии, что может поддерживаться батарейками-«таблетками», устройствами, рекуперирующими энергию или обоими способами. Кроме того, поскольку узлам 6LoWPAN назначены IP-адреса, к ним можно получать доступ прямо из облака. Если беспроводному сигналу нужно пройти большое расстояние и проникнуть сквозь объекты, подобные стенам, наиболее подходящим будет протокол Sub-1 ГГц.

### Энергопотребление

Энергопотребление промышленного беспроводного приложения следует рассматривать на макроуровне всей системы, а не только отдельных элементов. Для начала сеть IIoT обязательно потребовала бы датчиков низкой мощности для мониторинга производственных процессов, оборудования здания, систем жилых помещений, сети электропитания или чего бы то ни было другого. Современные, наиболее совершенные беспроводные датчики придали новое значение понятию низкой

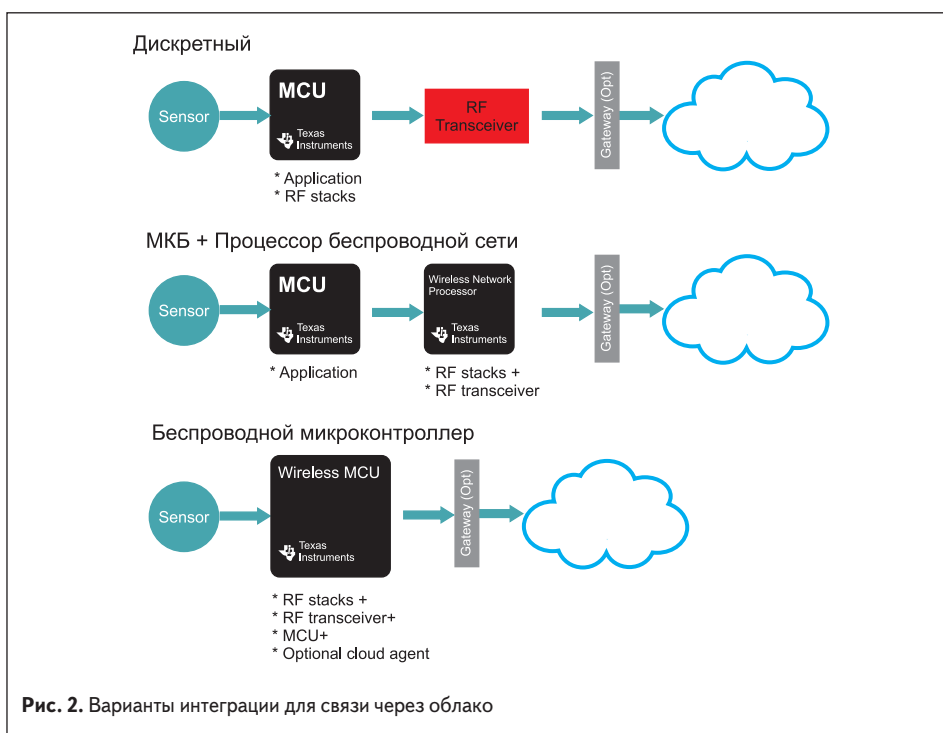


Рис. 2. Варианты интеграции для связи через облако








	NFC RFID	Bluetooth® Bluetooth low energy	Фирменный 2,4 ГГц	ZigBee®	Wi-Fi®	6LoWPAN	Фирменный Sub-1 GHz
Тип сети	Идентификация 	Индивидуальное подключение 	Индивидуально настраиваемая 	Сетка  ZigBee® Control your world	Существующая инфраструктура 	Сетка IP 	Индивидуально настраиваемая 
Дальность	Непосредственная близость	Персональные сети		Локальные сети			Районные сети
Ключевые отличия	Данные • До 848 кбит/с • Без батарейки или дисковый элемент питания	Данные или речь • До 3 Мбит/с • От дискового элемента питания до AAA	Данные • До 1 Мбит/с • Дисковый элемент питания	Данные • До 256 кбит/с • От сбора энергии до AAA	Речь или видео • До 100 Мбит/с • Батарейка AA	Данные • До 256 кбит/с • От сбора энергии до AAA	Данные • До 1 Мбит/с • Дисковый элемент питания
Промышленные применения	• Конфигурирование устройств / обновление микропрограмм	• Освещение • Замена проводов • Аварийная сигнализация • Отслеживание основных ресурсов • Автоматизация производства	• Автоматизация зданий и производства • Аварийная сигнализация	• Интеллектуальное управление энергопотреблением • Автоматизация зданий • Осветительные сети • Промышленный Интернет	• Отслеживание основных ресурсов • Дистанционное управление оборудованием • Датчики • Автоматизация зданий	• Интеллектуальное управление энергопотреблением • Автоматизация зданий • Осветительные сети • Промышленные Интернет-шлюзы низкой мощности	• Снятие показаний счетчиков • Интеллектуальные электрические сети • Сигнализация и безопасность • Мониторинг окружающей среды

Рис. 3. Таблица выбора технологий беспроводной связи для IoT

мощности. Некоторые, работающие совместно с маломощным МКБ с возможностями беспроводной связи, конечные узлы IoT на базе датчиков могут функционировать до 10 лет, питаясь от батарейки-«таблетки», в то время как другие будут функционировать, питаясь собранной вблизи себя от света, вибрации, тепловой или радиочастотной энергией. Сложное управление питанием, а также возможности прецизионной обработки аналоговых сигналов, такие как аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и компараторы, также имеют решающее значение для сетей IoT. Процедуры управления питанием, которые способны автоматически переводить части системы в энергосберегающий спящий режим, могут существенно продлить срок службы аккумуляторов и снизить потребность в регулярном техобслуживании для замены батареек. Это может иметь решающее значение в тех областях применения, где узел IoT установлен в особо недоступном месте, например на вершине башни или на спутнике.

### Профилактика никогда не была столь простой

Профилактическое техобслуживание (предотвращение проблемы до ее возникновения) высоко ценится во многих промышленных средах. Беспроводная связь делает возможным появление нового поколения приложений, предназначенных для таких целей. Например, в энергоблоке беспроводные датчики могут устанавливать связь со смартфоном технического специалиста, когда вибрация машины превышает определенный предел. После этого

профилактическое техобслуживание может вернуть машину в надлежащее рабочее состояние до того, как возникнет катастрофическая проблема.

В приложениях такого рода подсистема управления питанием может поддерживать в большей части системы низкоэнергетический спящий режим, исключая датчик, выполняющий мониторинг недоступной машины. Когда отслеживаемое датчиком условие, например вибрация или температура, перешагнет определенное пороговое значение, может включиться остальная часть системы, чтобы она могла подать сигнал тревоги или сама принять меры.

### Датчики

Датчики, установленные в беспроводном IoT, будут контролировать сложную и весьма разнообразную среду, в которой слабые изменения условий могут иметь решающее



Рис. 4. SimpleLink™ SensorTag быстро подключает датчики к облаку

значение (рис. 4). Во многих случаях могут потребоваться измерения с высоким разрешением и мониторинг химического состава, контроль доступа, вибраций, информация отслеживания основных ресурсов, движения, давления, температуры, УФ-излучения, расхода газа и жидкости и множества других переменных.

Некоторые легко реализуемые устройства объединяют несколько таких возможностей, сочетая в себе беспроводную связь низкой мощности по протоколам Bluetooth Smart, ZigBee, 6LoWPAN, Sub-1 ГГц, Wi-Fi или фирменному с МКБ, способному управлять датчиком и выполнять прикладную программу. Сюда входят также несколько интерфейсов к периферийным устройствам ввода/вывода. Собирая многие из этих возможностей в интегрированную платформу, такие устройства снижают энергопотребление узла даже намного больше, чем дискретная реализация.

### Безопасность

Безопасность является предметом особого внимания практически во всех аспектах экономичности, включая беспроводные сети IoT. Обеспечение безопасности может осуществляться рядом способов, но цель всегда состоит в предотвращении, обнаружении и реагировании на злонамеренное поведение, когда оно возникает. На физическом уровне узлы IoT должны быть как можно более устойчивы к злонамеренному вмешательству. Однако что касается электронных систем, безопасность также должна обеспечиваться



для защиты инвестиций в IP, а также от потери контроля над системой в результате вредоносных процессов. В низкомошных, зачастую удаленных узлах беспроводной сети такое обеспечение безопасности обычно наилучшим образом осуществляется посредством аппаратно реализованных ускорителей или сопроцессоров, выполняющих защитные алгоритмы, поскольку на это будет израсходовано меньше энергии без снижения пропускной способности узла. Соответствие и аттестация согласно стандартам беспроводной связи, таким как Wi-Fi, Bluetooth Smart и другим, также влияют на безопасность, поскольку стандарты либо содержат встроенные меры обеспечения безопасности, либо совместимы со стандартами безопасности. Например, Wi-Fi имеет ряд связанных с ним стандартов безопасности, таких как Wi-Fi Protected Access (WPA), SSL, TLS, X.509 и др. Криптографические и аутентификационные алгоритмы также могут защитить хранящиеся данные.

**Обеспечение безопасности зданий**

Беспроводная связь может обеспечить безопасность зданий подходящим образом. Например, замки, датчики движения, камеры, наружное и внутреннее освещение, клавиатуры и другие устройства обеспечения безопасности могут подключаться через ZigBee или Sub-1 ГГц к шлюзу на базе Wi-Fi с доступом в Интернет. При таком типе системы владелец или оператор коммерческого предприятия, находящийся в данный момент за пределами объекта собственности, может через смартфоны и облачное приложение обеспечения безопасности предоставить временный доступ пользующемуся доверием сотруднику. Кроме того, могут быть приняты аппаратные меры безопасности, такие как механизмы безопасной начальной загрузки и блокировки логической памяти.

**Возможности связи с облаком и проводными сетями**

В некоторой точке большинство беспроводных сетей IoT обычно взаимодействует с облаком и/или с традиционными промышленными проводными сетями.

Связь через облако имеет много преимуществ, но первым вопросом, который нужно решить, является место в локальной сети IoT, в котором эта связь будет реализована. Наиболее вероятно, что устройство IoT будет подключаться к облаку через один из своих верхних уровней, таких как сервер или шлюз. Шлюз или сервер будут объединять облачные сообщения от других узлов и передавать их через облако. Некоторые промышленные реализации IoT будут осуществлять доступ к облаку, чтобы связаться с облачными стратегическими партнерами, такими как IBM, PTC или другие сторонние фирмы, которые предоставляют характерную для конкретного применения аналитику, специализированную обработку и другие услуги, которые могут иногда потребоваться.

Вероятно, наиболее критической проблемой, касающейся связи через облако, будет

вопрос о том, насколько это легко или трудно выполнить. Исторически так сложилось, что разработчикам промышленных систем не нужен опыт радиочастотного (РЧ) проектирования. Во многих случаях беспроводная связь через облако будет обеспечиваться Wi-Fi в шлюзе или сервере, поскольку Wi-Fi уже стал вездесущим во многих промышленных условиях и имеет нужную полосу пропускания и производительность для предоставления эффективной связи через облако. Некоторым конечным узлам IoT может потребоваться двойная беспроводная связь: Bluetooth Smart, ZigBee или 6LoWPAN для локального взаимодействия с датчиками и операторами и Wi-Fi для подключения к более обширной сети IoT и к облаку. Некоторые промышленные решения Wi-Fi были объединены с уже готовыми возможностями связи, включая одиночные или двойные беспроводные технологии, сертифицированные протоколы беспроводной связи и защитные алгоритмы, библиотеки примеров программ и средства и комплекты для разработки.

Вдобавок к связи через облако, беспроводные промышленные приложения будут, скорее всего, взаимодействовать с сетями, состоящими из соединенного проводами оборудования. Например, системы автоматизации производства или автоматизации зданий могут благополучно иметь как проводные, так и локальные беспроводные сети связи в одной и той же среде. В таких случаях возможность состыковать устройства беспроводной связи с протоколами проводной связи, подобными RS-485, RS-232, и другими протоколами будет достаточно полезной. Тогда технический специалист сможет следить за процессами в заводском цеху через беспроводное подключение к HMI, выполняющему мониторинг

сети соединенного проводами оборудования, в которой работает один из промышленных Ethernet-протоколов реального времени, например EtherCAT, EtherNet/IP, PROFINET или POWERLINK.

**Заключение**

Корпорация Texas Instruments уже давно имеет самый обширный в отрасли портфель высокоэффективных беспроводных технологий для IoT. Компания предлагает как интегрированные, так и дискретные решения, такие как микроконтроллеры и датчики сверхнизкой мощности, аналоговые устройства, подобные АЦП и компараторам, а также устройства связи WiLink (рис. 5), Wi-Fi и Bluetooth combo и беспроводные МКБ SimpleLink, которые были объединены с возможностями локальной беспроводной связи для всех распространенных стандартов, будучи вдобавок легко настраиваемыми на фирменные протоколы. Более того, беспроводные МКБ SimpleLink содержат наиболее распространенные интерфейсы периферийных устройств, а также внутрикристальную память и подсистему контроллера датчиков, которая быстро и легко стыкуется с широким ассортиментом датчиков корпорации TI.

Все устройства способны работать в диапазоне производственных температур -40..+85 °C. В высокой степени программируемые, беспроводные решения компании TI поддерживаются обширной экосистемой инструментов, библиотек готовых к использованию программных модулей, базовых решений и других ресурсов, которые позволяют разработчикам промышленных систем не только индивидуально настраивать и видоизменять свои продукты, но и быстро и эффективно поставлять на рынок свои новые системы.

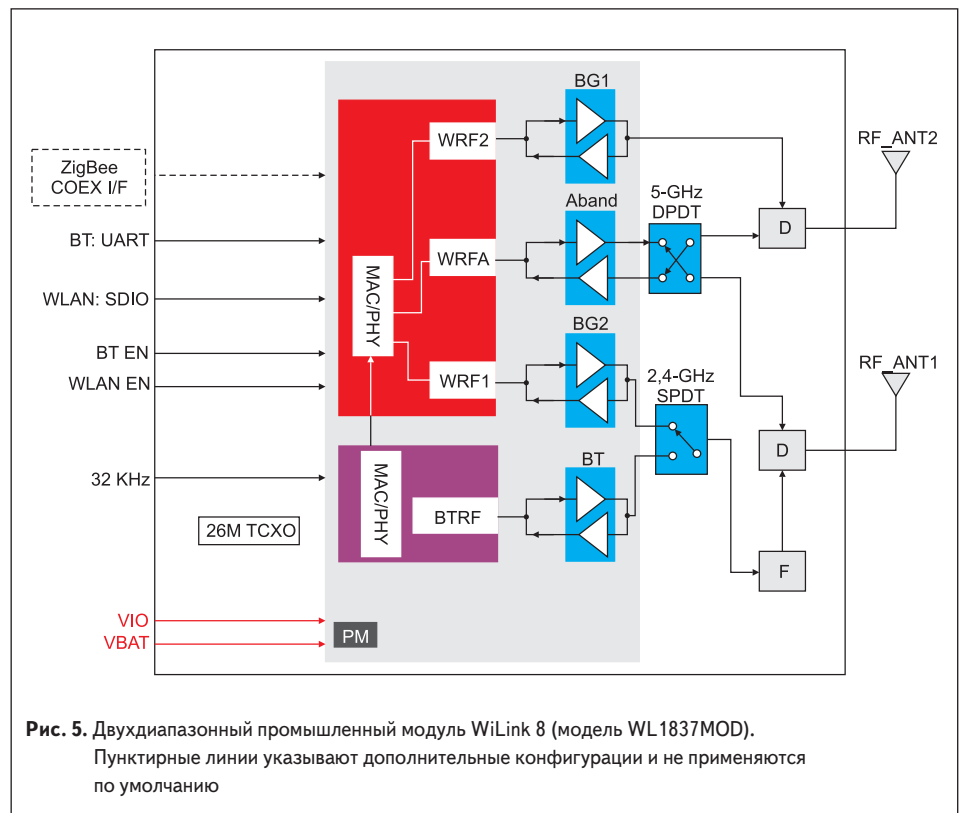


Рис. 5. Двухдиапазонный промышленный модуль WiLink 8 (модель WL1837MOD). Пунктирные линии указывают дополнительные конфигурации и не применяются по умолчанию