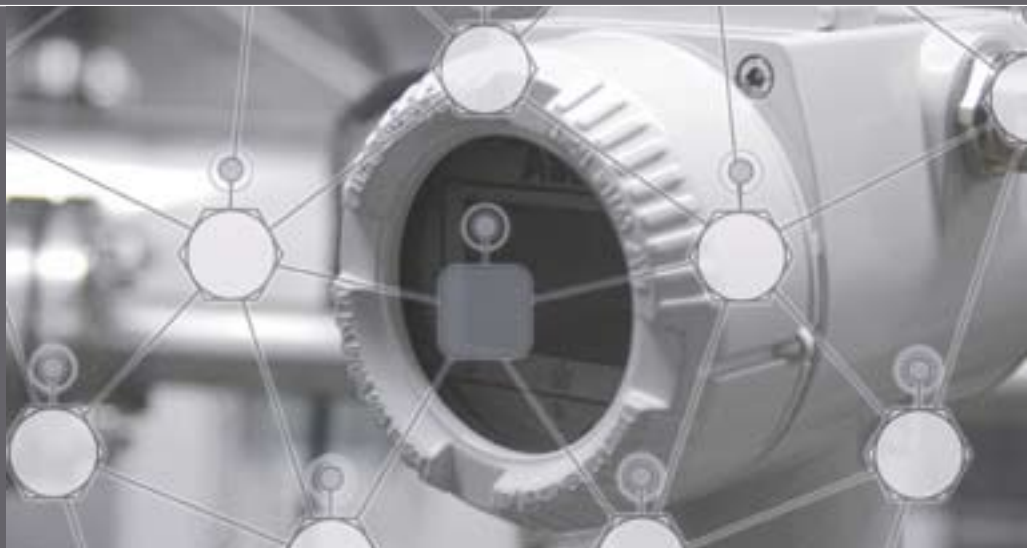


Беспроводная связь и сети датчиков

Сетевые решения нового вида для систем промышленной автоматизации

Нильс Акваг, Ян-Эрик Фрей

Представление о полной информатизации подразумевает смену парадигмы: вместо того чтобы концентрировать вычислительные мощности в настольных и портативных компьютерах, вычислительными возможностями наделяется сама среда. Это общее представление о перспективе породило ряд более узких исследовательских направлений, в том числе – сети беспроводных датчиков.



Сеть беспроводных датчиков (WSN, wireless sensor network) – это сеть, состоящая из большого количества устройств, распределенных в пространстве и оснащенных датчиками для контроля различных параметров, таких как температура, звуковое давление, вибрация, давление, смещение или концентрация загрязняющих веществ. Устройства представляют собой автономные блоки, состоящие из микроконтроллера, источника питания (обычно, но не всегда, химического источника тока), радиочастотного приемопередатчика и чувствительного элемента (рис. 1).

В связи с ограниченным временем работы от батареи узлы проектируются с упором на экономию энергии, и обычно проводят большую часть времени в «спящем» режиме с низким энергопотреблением. Узлы самостоятельно организуются в сеть по временному принципу, а не опираются на предварительно заданную топологию сети. Кроме того, сети WSN обладают способностью к самовосстановлению – при отказе одного из узлов сеть находит новый способ передачи пакетов данных. Таким образом вся сеть в целом сохраня-

ет жизнеспособность даже при нарушении питания отдельных узлов или их повреждении.

Несмотря на то что эта тема является областью активной исследовательской работы, приведенное выше классическое представление о сети беспроводных датчиков имеет очень ограниченное практическое значение. Например, ряд авторов, работающих в этой области, упоминают в качестве одной из сфер применения таких сетей обнаружение лесных пожаров. Для того чтобы определение WSN стало более применимым к промышленным условиям, его необходимо несколько расширить и дополнить.

Сети беспроводных датчиков в промышленной автоматике

Промышленные варианты реализации в некоторых аспектах отличаются от ранее данного определения. Первое и, возможно, самое главное отличие заключается в том, что все датчики важны для работы предприятия. Это означает, что потеря одного узла неприемлема, даже если вся сеть в целом продолжает функционировать. Отказавший узел необходимо заменить.

Второе важное отличие – требования ко времени отклика. В то время как передача пакета данных от отправителя к получателю в обычной WSN может занять неопределенно долгое время, в системе промышленной автоматизации максимальная задержка обычно жестко ограничена.

Наконец, в отличие от WSN, беспроводные решения в промышленности обычно включают проводную инфраструктуру. Данные передаются с датчиков, проходят по сети и попадают на некий проводной пункт сбора, снабженный кабельным интерфейсом. Отсюда они обычно поступают на контроллер по высокоскоростной шине. Помимо классической топологии типа

1 Автономный узел сети беспроводных датчиков



Технологии встроенных систем

«сетка», применяемой в WSN (рис. 2), существуют еще две распространенные топологии, применяемые в промышленных условиях. В топологии типа «звезда», наиболее распространенной на сегодняшний день, беспроводные узлы связываются со шлюзом, передающим данные в кабельную сеть. Создаются также промежуточные варианты WSN, в которых есть отдельные маршрутизаторы (зачастую с питанием от сети), напрямую связанные со шлюзом. В этом случае датчикам необходимо обеспечить лишь связь «точка-точка» с маршрутизаторами, поэтому схема датчиков может быть выполнена очень простой и экономичной, при этом также повышается надежность и дальность действия сети.

Преимущества WSN

Преимущества применения беспроводной связи в промышленных системах многочисленны. Помимо повышения надежности часто называют также низкую стоимость монтажа. Условия на промышленных объектах зачастую неблагоприятны, а к типу и качеству кабельной проводки предъявляются строгие требования. Отказ от кабелей позволяет снизить стоимость монтажа. Это в особенности касается модернизации или развития, когда разработать схему кабельной проводки в стесненных условиях оказывается затруднительно.

Несмотря на то что классическое определение WSN напрямую неприменимо к промышленным системам, в их концепции заложены новые принципы организации сетей, позволяющие дополнительно снизить стоимость монтажа беспроводных датчиков. За счет того, что сеть WSN не является фиксированной (относится к классу «ad hoc»), упрощается процесс ее организации и настройки – это преимущество не следует недооценивать при росте сети. Для обеспечения покрытия беспроводными датчиками всего предприятия, объем выполняемых вручную настроек необходимо свести к минимуму. Кроме того,

возможность быстрой настройки (по принципу «plug and produce» – «включил и работай») позволяет развертывать временные сети датчиков во время технического обслуживания или поиска неисправностей.

Область применения и требования

Требования к любому решению на основе WSN всегда в значительной мере определяются конкретной областью применения. Далее будут рассмотрены два сценария применения WSN: для автоматизации дискретного производства и в целях мониторинга состояния производственных объектов.

Узлы самостоятельно организуются в сеть по временному принципу, а не опираются на предварительно заданную топологию сети.

В обоих случаях к устройствам предъявляется требование малого энергопотребления, хотя конкретный способ обеспечения питанием может быть различным (за счет энергии, накопленной в аккумуляторах, получения энергии из окружающей среды, беспроводной передачи энергии с помощью индуктивной связи и т.п.). В обоих сценариях принимается, что устройство не должно рассеивать в среднем более нескольких милливатт (мВт).

В дискретном производстве большое значение имеет время задержки отклика системы. Существует жесткое ограничение максимального времени задержки, при превышении которого произойдет сбой в работе системы. Обычно это ограничение составляет несколько десятков миллисекунд. В то же время, при контроле состояния производственных объектов задержка значитель-

но менее важна. Точная величина ограничения зависит от вида контролируемого объекта, но в целом в таких системах зачастую допустимыми бывают задержки порядка нескольких минут или даже часов.

Третьей характеристикой, представляющей интерес, является надежность. В зависимости от конкретной области применения, возможен выбор из нескольких способов повышения вероятности успешной доставки сообщений. Один из способов заключается в дублировании. Существуют различные варианты дублирования. Сообщение может быть передано по различным маршрутам (пространственное разнесение), на разных частотах (разнесение по частоте), несколько раз на одной частоте (разнесение по времени) или даже отправлено с использованием различных схем модуляции. Последний вариант сложен, и применим только при наличии очень жестких требований и в том случае, когда цена решения не очень важна.

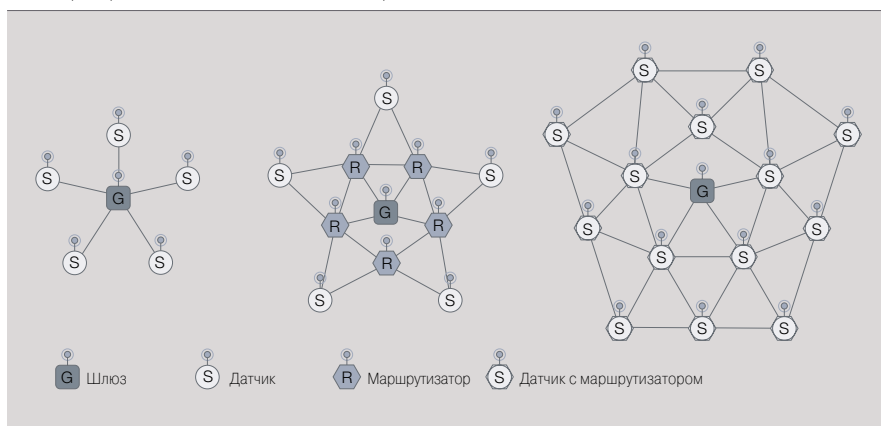
Спрос в секторе потребительской и офисной техники в настоящее время является основной движущей силой развития беспроводных технологий; этот сектор характеризуется большим объемом производства и относительно коротким сроком службы устройств. В то же время промышленные устройства обычно должны служить гораздо дольше, чем продукты для массового потребительского рынка. Следовательно, закладывая беспроводные компоненты в промышленные устройства, необходимо проявлять осторожность. Для обеспечения возможности технического обслуживания устройств, построенных из стандартных массовых изделий, на протяжении всего срока службы крайне важно применять модульный принцип проектирования (аппаратной и программной частей).

Сложности развития встроенных систем

Существует много разных определений понятия «встроенная система». Неплохой пример приведен в работе [1]: «... специализированная компьютерная система, являющаяся частью другой, более крупной системы или машины». Определяющее слово здесь – «специализированная». Встроенная система имеет четко определенное предназначение и выполняет одну-единственную задачу. При построении специализированных систем, в том числе WSN, следует учитывать, что к каждой из них предъявляются особые требования, определяемые характером конкретной задачи.

Проектирование встроенной системы охватывает вопросы проектирования аппаратной и программной частей. Эти процессы взаимосвязаны, и оптимальное решение, если таковое может быть найдено, подразумевает активное взаимодействие между ними.

2 Распространенные топологии сетей беспроводных датчиков.



Выбор исходных блоков

Важным условием при разработке WSN является необходимость сохранения минимального энергопотребления и одновременного обеспечения наилучших эксплуатационных характеристик системы.

При разработке с учетом минимального энергопотребления необходимо выбирать экономичные компоненты. Это может показаться очевидным, но сама задача часто очень непроста. Первый параметр, на который следует обратить внимание – мощность, потребляемая в нормальном режиме работы процессором, датчиком, приемопередатчиком и, возможно, другими элементами, такими как внешние запоминающие устройства и периферийные компоненты. При выборе экономичных элементов обычно приходится жертвовать характеристиками. Обычно маломощный ЦП работает при пониженной тактовой частоте и содержит на кристалле меньше элементов, чем его более «прожорливые» аналоги. Задача состоит в том, чтобы выбрать элементы, производительности которых как раз достаточно для выполнения необходимых функций, и не более того.

Важно также, чтобы потребляемая мощность в «спящем режиме» была малой. Зачастую датчик и приемопередатчик можно отключить полностью. В случае ЦП необходимо наличие некоего спящего режима, из которого процессор можно при необходимости вернуть в нормальный режим. Для соблюдения требований к общей потребляемой мощности малый расход энергии в таком спящем режиме крайне важен.

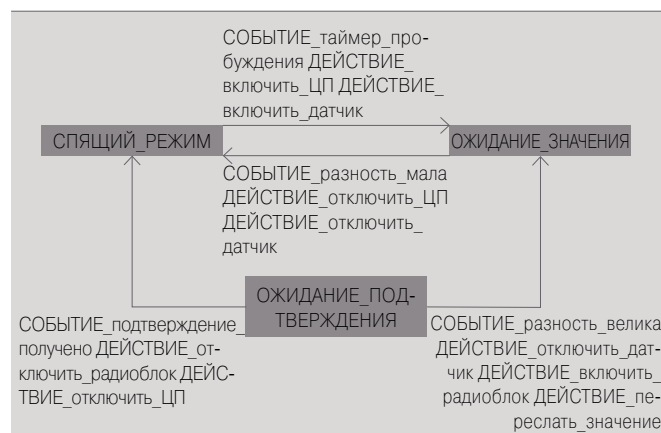
Важный аспект, которым часто пренебрегают – время, затрачиваемое на включение и выключение элементов. Например, приемопередатчику после включения требуется некоторое минимальное время для стабилизации частоты генераторов. В процессе ожидания приемопередатчик и ЦП потребляют энергию. Этот расход энергии необходимо свести к минимуму. Очевидно, то же относится и к операциям включения процессора и датчика.

Наконец, необходимо убедиться, что ЦП может управлять всеми необходимыми элементами. ЦП является главным элементом системы и должен иметь полный контроль над всеми функциональными блоками.

Системные вопросы

Зачастую протокол обмена данными задан в исходных условиях. Ставится цель использовать имеющиеся ресурсы в соответствии с требованиями

3 События и действия, приводящие к переходу ПО между состояниями.



ми и не допускать работы компонентов в те периоды, когда они не нужны. Задача сводится к тому, чтобы включить и выключить в нужный момент датчик, ЦП и приемопередатчик. Предположим, что узел должен регулярно выходить из спящего режима для передачи сигнала датчика, но только в том случае, если новое значение отличается от предыдущего на величину, большую некоторого порога. После отправки значения по радиоканалу устройство ждет подтверждения приема, сообщаящего об успешном получении пакета адресатом. Алгоритм действий программы лучше всего описывается с помощью так называемой «диаграммы состояний»: схематического изображения состояний, в которых может находиться программа, событий, которые могут приводить к переходу из одного состояния в другое, и действий, связанных с каждым из возможных переходов (рис. 3).

В топологии типа «звезда» беспроводные узлы связываются со шлюзом, передающим данные в кабельную сеть.

Обратите внимание, что в описываемой системе устройства включаются только при необходимости, что позволяет сократить расход энергии.

Вопросы, связанные с протоколом

Помимо применения экономичных электронных компонентов и разработки оптимальной схемы включения и отключения компонентов, на окончательное значение потребляемой системой мощности оказывает сильное влияние протокол обмена данными.

Особенности протокола определяют нижний предел снижения расхода энергии. Некоторые

протоколы известны своей выдающейся неэффективностью, при их использовании даже самые лучшие алгоритмы не позволят привести энергопотребление к допустимому уровню. Другие протоколы рассчитаны на обеспечение малого расхода энергии без чрезмерного снижения характеристик. Платформа WISA¹ (Wireless Interface to Sensors and Actuators – беспроводной интерфейс к датчикам и исполнительным механизмам) [2], [3] представляет собой пример одного из экономичных протоколов. Его высокие характеристики можно связать с двумя факторами: пересылкой одним скачком и применением мультиплексирования с временным уплотнением (TDM, Time

Division Multiplexing). Пересылка одним скачком позволяет избежать задержек на промежуточных узлах. Применение указанной схемы мультиплексирования гарантирует, что канал занят всегда только одним узлом, при этом исключаются коллизии.

Недавно разработанная спецификация ZigBee [4], в основе которой лежит протокол 802.15.4, носит более общий характер, но предусматривает не столь высокие характеристики. Спецификация рассчитана на использование пересылки по нескольким участкам маршрута, при этом сообщение может передаваться адресату через несколько радиоузлов. Узлы не получают выделенных интервалов времени, и поэтому конкурируют между собой за доступ к радиоканалу. Это позволяет большему числу пользователей получить доступ к беспроводной среде, но приводит к возникновению неопределенности, поскольку из-за необходимости ожидания возрастает задержка и расход энергии. Кроме того, промежуточным узлам неизвестно заранее, когда от них требуется выполнить пересылку пакетов для других узлов. Следовательно, желательно снабдить промежуточные узлы, также называемые узлами-маршрутизаторами, питанием от сети (см. топологию сети на рис. 2).

В целом протокол WISA хорошо приспособлен к условиям дискретного производства при соблюдении правила пересылки одним скачком. С другой стороны, протокол ZigBee идеально подходит для систем контроля состояния производственных объектов, при том условии, что узлы-маршрутизаторы обеспечиваются питанием от сети.

От выбора методов реализации аппаратного и программного обеспечения непосредственно зависит потребляемая мощность устройств (рис. 4). Попыток количественно оценить влияние различных эффектов не предпринималось. Такие эффекты будут различными в разных сетях WSN.

Технологии встроенных систем

Модульность

Применение модульного принципа при проектировании необходимо для повторного использования разработанных элементов в дальнейшем. Однако такой подход накладывает определенные ограничения на разработчика, в частности, интерфейсы между модулями, как аппаратные, так и программные, должны быть достаточно универсальными, чтобы обеспечить переносимость.

Классическим примером деления на модули является разбиение на ПО протокола связи и прикладное ПО. Последнее, безусловно, создается в АББ, однако ПО, обеспечивающее работу протоколов, зачастую может быть приобретено у сторонних разработчиков. Реализация обоих компонентов на одном и том же микропроцессоре может представлять определенные сложности. Если ПО, исполняемое на одном процессоре, поступает из разных источников, еще более сложной задачей может оказаться работа с новыми редакциями, исправлениями и документацией. Высокий риск субоптимизации, т.е. ситуации, в которой программные модули оптимизируются (по критериям расхода энергии, рабочих характеристик, объема кода и т.п.) по отдельности. Такой подход не обязательно приводит к достижению глобального оптимума.

Модульность может быть обеспечена и на более низком уровне. Протокол связи можно рассматривать как совокупность нескольких блоков, известных как уровни OSI. При использовании подходящих методов проектирования может быть обеспечена взаимозаменяемость блоков

отдельных уровней, разработанных различными поставщиками. Очевидно, что чем выше степень деления кода, тем больше его модульность. В то же время это приводит к субоптимизации, и окончательное решение становится менее совершенным.

Стандартизация

В настоящее время действует ряд программ стандартизации WSN для использования в промышленных системах. Один из наиболее известных стандартов – спецификация ZigBee, предусматривающая создание недорогих и экономичных беспроводных систем связи с малой скоростью передачи данных. Целевой сегмент этого стандарта – бытовые приборы, игрушки, промышленные системы и т.п. Недавно альянс ZigBee приступил к работе над вариантом, предназначенным для мониторинга производственного предприятия.

Другая важная инициатива – программа разработки спецификации беспроводного протокола HART [5] – направлена на применение этого известного стандарта в беспроводной среде, что откроет дорогу на рынок для большого числа пользователей HART. Будут разработаны варианты и сценарии внедрения, непосредственно применимые для организации беспроводных систем управления.

Третьим направлением, развиваемым в настоящее время, является разработка спецификации ISA-SP100 [6]. Вместо стандартизации всех элементов системы в данной спецификации будут описаны лишь верхние уровни стека и предусмотрены различные варианты реализации нижних уровней.

Сейчас, на столь раннем этапе, сложно сказать, какая из инициатив будет доминировать. В итоге решение примут конечные потребители, исходя из характеристик и доступности готовых изделий. Главная задача состоит в том, чтобы оптимальным образом внедрить тот стандарт, который получит наибольшее распространение, т.е. в максимально возможной степени соблюдать стандарт, удовлетворяя в то же время важнейшие практические требования, а также обеспечивать эффективное сопровождение и модернизацию.

Появление сетей беспроводных датчиков создаст основу для множества новых интересных технологий в мире промышленной автоматизации. Главной технической трудностью в развитии данного направления является сохранение минимального расхода энергии датчиками-узлами сети и обеспечение в то же время наиболее высоких эксплуатационных характеристик системы. Вторая трудность сопряжена с созданием модульной системы, допускающей техническое сопровождение устройств на протяжении всего срока службы и при этом удовлетворяющей всем практическим требованиям.

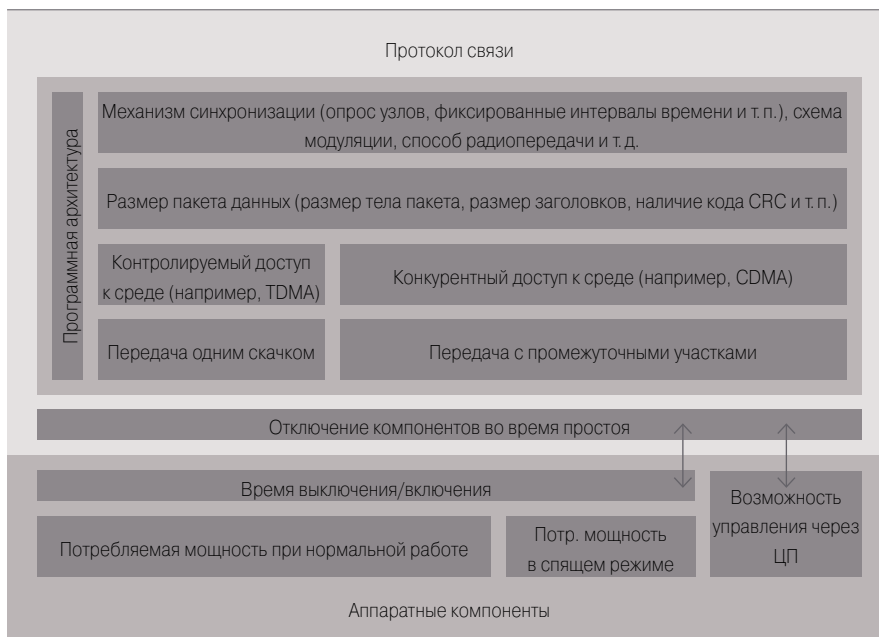
Нильс Акваг

ABB Corporate Research
Биллингстад, Норвегия
niels.aakvaag@no.abb.com

Ян-Эрик Фрей

ABB Automation Technologies
Вестерос, Швеция
jan-erik.frey@se.ab.com

4 Аппаратные и программные методы, непосредственно влияющие на энергопотребление устройств.

**Литература**

- [1] Wikipedia, http://www.wikipedia.com/TERME/embedded_system.html
- [2] Ян-Эрик Фрей, Андреас Крайц, Гюнтрам Шайбль; «Без проводов, но на связи. Часть 1. Меняя термины», АББ Ревю 3/2005.
- [3] Ян-Эрик Фрей, Ян Эндресен, Андреас Крайц, Гюнтрам Шайбль; «Без проводов, но на связи. Часть 2. Беспроводные датчики и исполнительные механизмы в промышленных системах управления», АББ Ревю 4/2005.
- [4] ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org>
- [5] HART Communication Foundation, <http://www.hartcomm.org>
- [6] ISA-SP100, <http://www.isa.org>

¹⁾ WISA – фирменный протокол АББ, работающий на стандартных недорогих компонентах (приемопередатчики диапазона 2,4 ГГц), но предназначенный специально для устройств промышленной автоматизации полевого уровня, работающих в режиме реального времени. Разработка протокола WISA была начата в первую очередь потому, что ни один из ныне существующих стандартов беспроводных систем не удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к беспроводным устройствам в сфере промышленной автоматизации.