

## ПРИМЕНЕНИЕ BLUETOOTH MESH-СЕТЕЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Тонко И. А.

Ионин В. С. – канд.техн.наук, доцент

В статье рассматриваются характеристики mesh-сетей и особенности их реализации при использовании стека протоколов Bluetooth. Обсуждается актуальность применения подобных сетей для организации систем отслеживания показаний датчиков и иных устройств, выполняющих соответствующие измерения.

Под интеллектуальным датчиком подразумевается устройство, измеряющее параметры внешней среды и содержащее в себе изменяемые их значения и алгоритмы работы, а также реализующие встроенные функции самоконтроля. Такие датчики отличаются способностью самовосстанавливаться после сбоя. Как правило, под такими датчиками понимают датчик со встроенной электроникой, включающей в себя микропроцессор [1].

Интеллектуальные датчики могут иметь цифровые интерфейсы с поддержкой сетевых протоколов для коммуникации, что позволяет включить их в беспроводную или проводную сеть. Сетевой интерфейс интеллектуального датчика позволяет не только включить его в сеть, но и настроить его, сконфигурировать, выбрать режим работы, произвести диагностику.

Широко распространены датчики, зафиксированные в одном месте и подсоединённые посредством проводных интерфейсов к компьютеру, на котором производится обработка показаний. Такая структура, однако, непригодна для случаев, когда необходима мобильность системы. Движущиеся объекты, распределённые в пространстве, требуют беспроводной связи со средствами их автоматизации. Для систем с изменяемой структурой, где положение отдельных устройств в пространстве и относительно друг друга может изменяться, могут применяться беспроводные самоорганизующиеся сети.

Mesh (ячеистая) - топология – сетевая топология, в которой узлы могут соединяться между собой независимо от остальных узлов сети и способны принимать на себя роль коммутатора сообщений для остальных участников. Одной из реализаций этой топологии является стандарт Bluetooth Mesh. Это стек протоколов, работающий поверх транспортного уровня Bluetooth Low Energy (BLE). Это решение позволяет реализовать устройства интеллектуальных датчиков как узлы mesh-сети с помощью систем на кристалле (SoC, System-on-Chip), поддерживающих стандарт Bluetooth 5. При сравнительно небольшом расстоянии между соседними узлами (в пределах помещения или некоторой территории) можно организовать динамическую сеть, отличающуюся сравнительно небольшим энергопотреблением устройств.

Актуальность mesh-сетей во многом определяется развитием микроэлектроники, появлением устройств с низким энергопотреблением, способных работать длительные периоды времени без сбоев, а также способных обмениваться информацией с окружающей средой. Эта концепция во многом применима к системам датчиков.

Одним из преимуществ mesh-сети на основе Bluetooth является независимость. Можно создать собственную мобильную сеть передачи данных, никем не контролируемую, и оставаться на связи долгое время, а также не зависеть от наличия других сетей, например, Wi-Fi. Это может оказаться полезным в местах с недоступностью Интернета.

Mesh-сеть позволяет каждому устройству взаимодействовать с любым другим устройством в сети. Связь организуется путём передачи сообщений, устройства эти сообщения могут как передавать, так и ретранслировать другим устройствам, увеличивая дальность связи далеко за пределы диапазона радиосвязи каждого отдельного узла.

Узлы mesh-сети могут поддерживать функцию ретрансляции, основной механизм, посредством которого сообщение может перемещаться по всей сети, совершая несколько переходов между устройствами. Это даёт возможность разместить узлы не компактно, а, например, в длинные цепочки.

Низкое потребление устройств обусловлено стандартом BLE, находящемся внизу стека протоколов Bluetooth Mesh. Это не просто один из слоёв архитектуры, а фактически, это полный стек BLE, который необходим для обеспечения сети беспроводной связью. Таким образом, сеть полностью зависит от доступности стека BLE на устройстве [2].

Узлом mesh-сети может называться любое устройство, являющееся частью этой сети. Для того, чтобы устройство стало узлом, его необходимо подготовить. Инициализация (provisioning) – процесс ввода неподготовленного устройства в сеть, после чего устройство станет узлом. Это определённые действия в контексте безопасности сети, которые приводят к тому, что устройство,

обмениваясь определенным набором ключей шифрования с устройством, обладающим функцией регистрации в сети, становится участником сети. Один из ключей шифрования называется «сетевой ключ» или кратко «NetKey». Все узлы mesh-сети имеют хотя бы один «NetKey» и наличие такого ключа делает устройство членом сети [3].

Устройством, обладающим функцией регистрации в сети обычно является планшет или смартфон. Однако, им может являться и микроконтроллерная система, что удобно для организации автономного мониторинга, так как это устройство может автоматически производить процесс добавления других устройств в сеть по заданной конфигурации и сразу же вести за ними наблюдение.

Некоторые узлы могут состоять из несколько частей, каждой из которых можно управлять независимо. В терминологии mesh-сети Bluetooth эти части называются элементами.

Mesh-сеть основана на сообщениях, и в стандарте определено множество типов сообщений, каждый из которых имеет свой собственный уникальный код операции. Сообщения подразделяются на подтверждаемые и неподтверждаемые. Подтверждаемые сообщения подразумевают ответ от узлов, которые получают сообщения. Отправитель подтверждаемого сообщения может повторно отправить сообщение в случае, если он не получит ожидаемый ответ.

При mesh-взаимодействии передаваемые сообщения в любой момент могут быть переданы от произвольного узла к любому другому. Обычно в Bluetooth для передачи информации устанавливаются надёжные зашифрованные соединения, но при Mesh-конфигурации это неоправданно в силу сравнительно долгого времени установки и разрыва таких соединений по сравнению с единичной передачей данных, а также ограниченного числа соединений, которое может одновременно поддерживать устройство. Вместо этого mesh-сообщения передаются в широковещательном формате, но предварительно шифруются, а расшифровать их может только устройство-член этой сети, и, в зависимости от адресата, обработать это сообщение или ретранспировать дальше [4].

В общем пространстве можно разместить несколько сетей, и они не будут логически пересекаться. Для этого сеть может быть разделена на подсети, и каждая подсеть имеет свой собственный ключ NetKey, принадлежащий только узлам, являющимся членами этой подсети. Такая возможность может быть использована для изоляции конкретных физических областей, например, соседних комнат.

Данные конкретного приложения могут быть расшифрованы только узлами, имеющими правильный ключ приложения («AppKey»). Через узлы в сети может проходить большое количество ключей такого типа, но, как правило, определенным ключом будет обладать ограниченное множество узлов, имеющих данное приложение [5].

Для организации системы мониторинга устройства интеллектуальных датчиков можно разместить на микроконтроллерной платформе с поддержкой BLE, и закреплённым датчиком для съёма данных. Это устройство работает выполняя измерения по заданным временным интервалам, или по запросам другого Bluetooth-устройства. В качестве датчиков могут использоваться, например, датчики температуры, влажности, микрофоны, камеры и т.д.

Устройство, выполняющее мониторинг и конфигурацию, может быть реализовано на аналогичной платформе и размещено в пределах сети. При этом mesh-сеть будет уже не децентрализованной, при этом размещение центрального узла позволит организовать мониторинг без обязательного присутствия смартфона или планшета, опрашивающего другие узлы через Bluetooth в радиусе видимости. Центральное устройство, или устройство-конфигуратор сети, может реализовывать более энергозатратные интерфейсы, например, доступ в Интернет для передачи данных на сервер, а также запроса конфигурационных данных для датчиков. Разумеется, подключиться к центральному узлу можно и по Bluetooth с мобильного устройства для того, чтобы получить свежие данные с любого датчика или передать новую конфигурацию.

Объединение датчиков в сеть даёт возможность доступа к информации об измерениях независимо от типа датчика и от того, как организована конкретная сеть. Получается сеть, служащая мостиком между датчиками и пользователем, помогающая решать технологические задачи.

Распределённые сети из интеллектуальных датчиков позволяют выполнять мониторинг и контроль параметров в реальном времени на сложном оборудовании, где процессы динамически меняют своё состояние. Такие сети имеют смысл и при частном использовании, а также в сфере услуг, инфраструктуры и малого бизнеса, что объяснимо огромным разнообразием датчиков и вариантов их использования.

**Список использованных источников:**

1. Fraden, J.: Handbook of Modern Sensors – 587 с.
2. Heydon, R.: Bluetooth Low Energy, The Developer's Handbook – 459 с.
3. Townsend, K.: Getting Started with Bluetooth Low Energy – 186 с.
4. Gupta N.: Inside Bluetooth Low Energy – 456 с.
5. Aftab, M.U.: Building Bluetooth Low Energy Systems – 281 с.