

Лекция 7. Технология беспроводных сенсорных сетей

Цель лекции – определение и анализ беспроводных сенсорных сетей, их архитектуры, протоколов, методов обеспечения безопасности и применения в различных сферах, включая IoT.

Введение

Набор датчиков может быть объединен в сеть с помощью беспроводной системы. Они кооперативно отслеживают физические и экологические условия, такие как температура, звук, вибрация, давление, движение или опасные утечки газа и загрязняющие вещества в разных местах. Беспроводные сенсорные сети (БСС) получают данные из нескольких удаленных мест. Например, в Интернете мусорных контейнеров датчики по беспроводной связи передают статусы мусорных контейнеров в систему управления отходами в умном городе; датчики в Интернете уличных фонарей получают данные об условиях окружающего освещения; а БСС передает данные о плотности дорожного движения поблизости для управления и мониторинга светофоров.

Каждый узел БСС имеет радиочастотный приемопередатчик. Приемопередатчик функционирует как передатчик и приемник.

В данной лекции определяется БСС и описывается его история, контекст и архитектура, а также узлы, соединяющие узлы, сетевое взаимодействие узлов и обеспечение безопасности связи. Также описывается создание инфраструктуры БСС, протоколы MAC канального уровня, протоколы маршрутизации, различные подходы к интеграции, проблемы безопасности, QoS и конфигурации, а также специфические для БСС приложения IoT.

Основные понятия беспроводной сенсорной сети

Определение и история

БСС определяется как сеть, в которой каждый сенсорный узел подключается по беспроводной связи и имеет возможность вычислений для уплотнения, агрегации и анализа данных. Каждый из них также имеет коммуникационные и сетевые возможности. БСС состоит из пространственно распределенных автономных устройств (сенсоров).

Системы наблюдения и слежения за вражескими подводными лодками на основе звуковых волн использовались в 1950-х годах. В это же время использовались и беспроводные сетевые радары. Исследования распределенных сенсорных сетей (Distributed Sensor Networks – DSN) с использованием сетевой связи начались до 1980 года. Многие пространственно распределенные сенсорные узлы сотрудничают и работают автономно в сети на основе наилучших усилий. Исследования и применение маломощных беспроводных интегрированных микродатчиков (LWIM) в DSN ведутся с 1998 года. БСС имеют большое количество приложений IoT. Примерами являются умные дома и умные города. Узлы БСС могут определять и передавать, используя Интернет, беспроводным способом данные из удаленных мест, таких как промышленные машины, леса, озера, газопроводы, которые иногда могут быть нелегкодоступны.

Контекстно-зависимые операции узлов

Словарное значение слова «контекст» - это обстоятельства, которые формируют обстановку события, утверждения или идеи, и в терминах, которых они могут быть полностью поняты. Узел БСС может адаптироваться, перепрограммировать или выполнять другую задачу, используя датчик и связанную с ним схему, вычисления, сетевые возможности и контекст в этом узле.

Когда узлы могут адаптировать свои операции в ответ на изменения в окружающей среде, это называется контекстно-зависимым зондированием, созданием сетей и вычислениями.

Программы прикладного уровня помогают узлу дифференцировать задачи, которые должны быть выполнены в измененном контексте. Выбор данных, памяти, управления питанием и путями маршрутизации, протокола маршрутизации, пользователей, устройств и прикладных интерфейсов в системе БСС может быть запрограммирован таким образом, чтобы они функционировали в соответствии с контекстом и учитывали обстоятельства во время сетевого взаимодействия и вычислений.

Контекст может быть физическим, вычислительным, пользовательским, структурным или временным. Следующее может соответствовать контексту для перепрограммирования действий узлов БСС:

- Прошлые и настоящие окружающие ситуации;
- Действия, такие как текущая сеть;
- Окружающие устройства или системы;
- Изменения в состоянии подключающейся сети;
- Физические параметры, такие как текущее время дня;
- Ближайшее доступное в данный момент подключение;
- Прошлая последовательность действий пользователя устройства;
- Прошлая последовательность приложения или приложений;
- Ранее кэшированные записи данных;
- Оставшаяся память и заряд батареи в данный момент.

Перепрограммирование БСС может быть Over-The-Air (ОТА, обновление по воздуху), что означает беспроводное изменение кодов во флэш-памяти через точку доступа шлюзом, приложением или службой.

Архитектура беспроводной сенсорной сети

Архитектура узла БСС

Рисунок 7.1 показывает трехслойную архитектуру узла. Три уровня – это прикладной уровень, сетевой уровень (последовательный канал с каналом передачи данных MAC), физический уровень с каналом передачи данных (MAC + физический уровень).



Рисунок 7.1. Архитектура беспроводного сенсорного узла

Программные компоненты прикладного уровня включают управление датчиками, запросы датчиков и распространение данных, назначение задач, объявление данных и протоколы, специфичные для приложений.

Датчик, ЦП и программный сенсорный узел составляют прикладной и сетевой уровни. Сетевой уровень последовательно подключается к уровню канала передачи данных и может включать программное обеспечение для координации или маршрутизации.

Последовательное соединение соединяет уровни с беспроводной радиосхемой и антенной. Радиосхема находится на физическом уровне канала передачи данных. Подсистема связи использует MAC и физические протоколы.

Архитектура для соединения узлов

На рис. 7.2 показаны две архитектуры для соединения узлов БСС: фиксированная соединительная инфраструктура узлов БСС, координаторов, ретрансляторов, шлюзов и маршрутизаторов, а также мобильная ad hoc-сеть БСС (динамическая, самоорганизующаяся сеть), точек доступа, маршрутизаторов, шлюзов и многоточечных ретрансляторов.

Точка доступа – это фиксированный приемопередатчик, обеспечивающий доступ к узлам, находящимся поблизости, или узлам, находящимся в зоне действия беспроводной сети. Многоточечный ретранслятор подключается к другим сетям, таким как Интернет или сеть поставщика услуг мобильной связи. Роль маршрутизатора заключается в выборе пути для передачи пакетов среди доступных в настоящее время путей в сети. Координатор обеспечивает связь между двумя сетями.

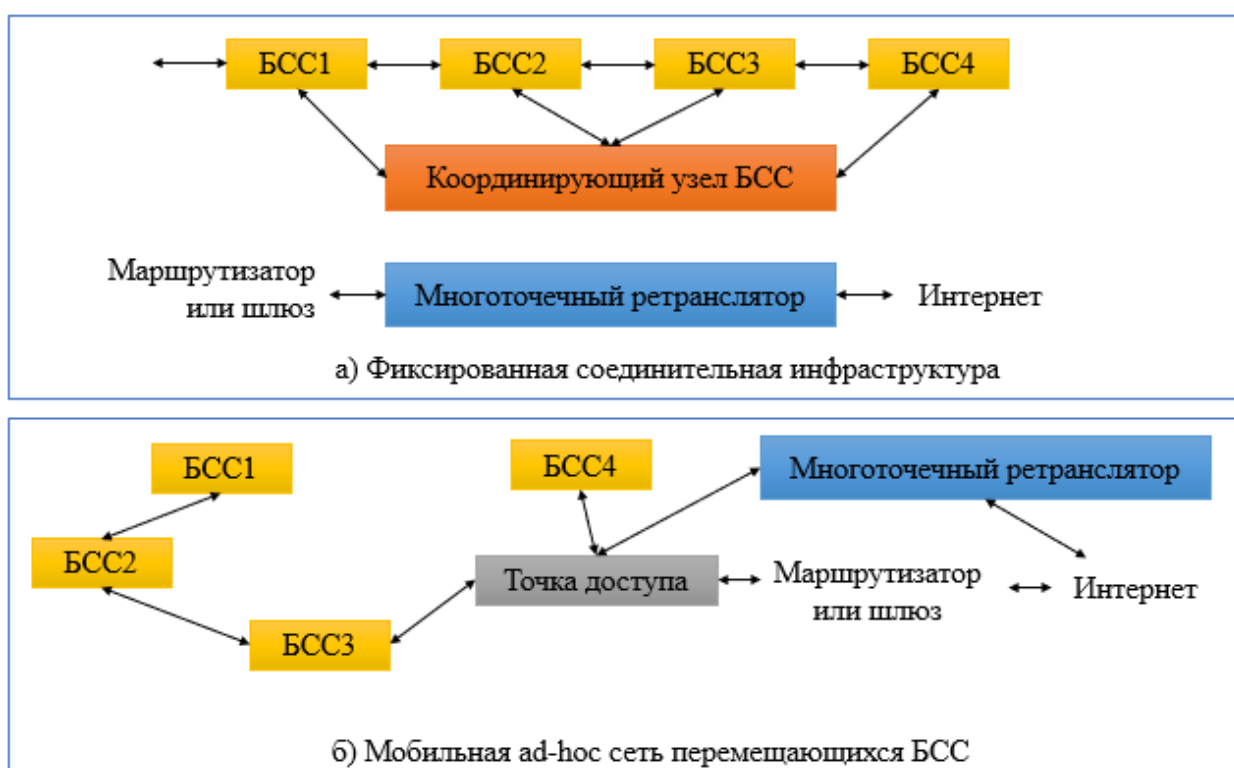


Рисунок 7.2. Архитектура для соединения узлов БСС:

- (а) Фиксированная соединительная инфраструктура узлов БСС, координаторов, реле, шлюзов и маршрутизаторов; (б) Мобильная ad-нос сеть перемещающихся БСС

Примером фиксированной инфраструктуры является сеть умного дома, состоящая из БСС в точках наблюдения безопасности, холодильника, кондиционера, микроволновой печи, телевизора и компьютеров с точкой доступа WiFi. Другой пример – узлы БСС, точки доступа, маршрутизаторы, шлюзы и многоточечные реле. На промышленном предприятии – несколько местоположений машин, магазинов, офисов, отделов продаж и чеков и других мест расположения завода. Примером специальной инфраструктуры являются мобильные БСС, связанные с птицами или животными для мониторинга среды обитания.

Архитектура для сетевых узлов

Две основные архитектуры для сетевых узлов – это многоуровневая архитектура и многокластерная архитектура.

Архитектура беспроводной многоступенчатой инфраструктурной сети

Архитектура беспроводной многоступенчатой инфраструктурной сети (Wireless Multi-Hop Infrastructure Network Architecture – MINA) – это многоуровневая архитектура. Узлы БСС обладают функцией считывания данных, а также возможностью переадресации к точке доступа (базовой станции). Узлы могут быть мобильными и иметь зону покрытия и диапазон мобильности для связи с удаленными точками доступа. Точки доступа обладают возможностями сбора и обработки данных и могут подключаться к более крупной сети, такой как Интернет. На рис. 7.3 показана многоуровневая архитектура. Каждый узел подключается к соседнему узлу, расположенному на небольшом расстоянии. Когда узел перемещается на большие расстояния, он подключается к точке доступа (базовой станции) через 2 или 3 перехода. Каждый узел имеет маломощные приемопередатчики для связи с ближайшим соседним уровнем БСС.

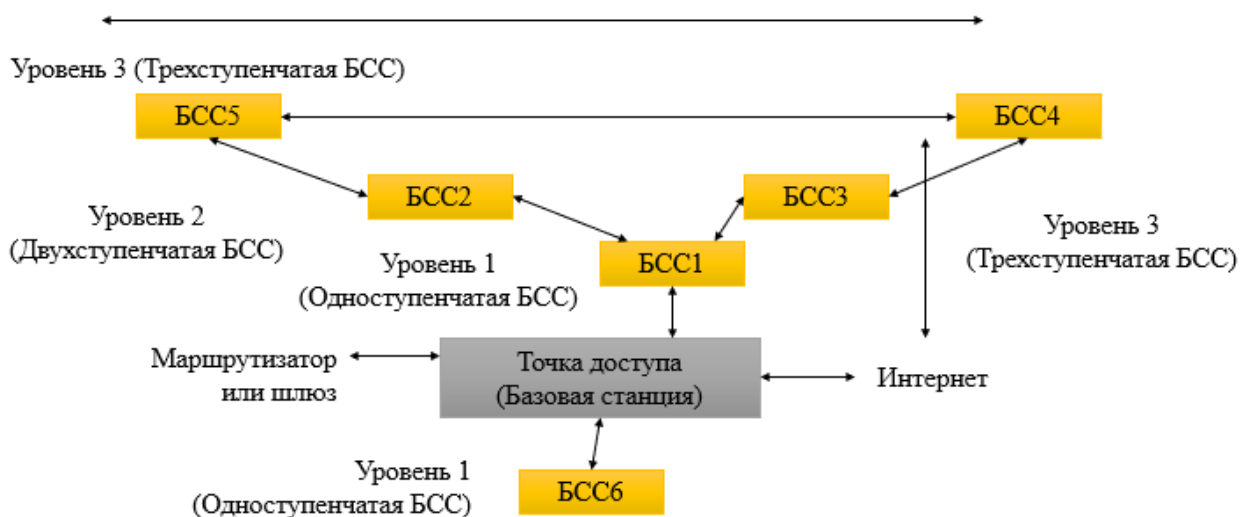


Рисунок 7.3. Многоуровневая архитектура для сети узлов

Предположим, что базовая станция окружена тремя уровнями БСС. БСС уровня 1 подключаются напрямую. БСС уровня 2 сначала подключаются к БСС уровня 1, функционирующим как координаторы, а затем подключаются напрямую. БСС уровня 3 сначала подключаются к БСС уровня 2, функционирующим как координаторы, затем подключаются к БСС уровня 1, а затем подключаются к точке доступа. На рисунке показано, что БСС1 и БСС6 уровня 1 подключаются напрямую к точке доступа. Это означает, что количество переходов = 1. На рисунке также показаны БСС2 и БСС3 на уровне 2. Они подключаются одним переходом к БСС1 и следующим переходом через БСС1. Количество переходов = 2 для уровня 2. Это означает, что БСС2 подключается к БСС1, который имеет связь с точкой доступа (базовой станцией).

На рисунке также показаны БСС4 и БСС5 на уровне 3. Они подключаются тремя переходами, один к БСС уровня 2, затем к БСС уровня 1 и затем к точке доступа. Количество переходов = 3 для уровня 3. Это означает, что БСС5 подключается к БСС2, затем к БСС1 и затем к точке доступа (базовой станции). БСС4 подключается к БСС3, затем к БСС1 и затем к точке доступа (базовой станции). Точки доступа соединяют кластеры с помощью протокола беспроводной локальной сети (802.11b). Точки доступа обеспечивают подключение к Интернету. Данные датчиков архивируются и могут быть запрошены в

режиме реального времени, и пользователи с мобильными устройствами и удаленными клиентами могут получить доступ к данным.

Мультикластерная архитектура

Каждый кластер имеет узел шлюза. Набор кластеров со шлюзом, каждый из которых имеет один кластер с шлюзом-головкой кластера. Мультикластерная архитектура имеет ряд кластеров, которые связывают шлюз-головку кластера. Головка кластера обеспечивает древовидную топологию кластеров в мультикластерной архитектуре. Формирование кластера и выбор головок кластера являются автономными в распределенных БСС и кластерах БСС. На рис. 7.4 показана мультикластерная архитектура. На рисунке показаны два кластера. На рисунке также показан шлюз-головка кластера. Головной шлюз подключается к Интернету или сотовой связи других сетей и обеспечивает подключение к БСС в нескольких кластерах.

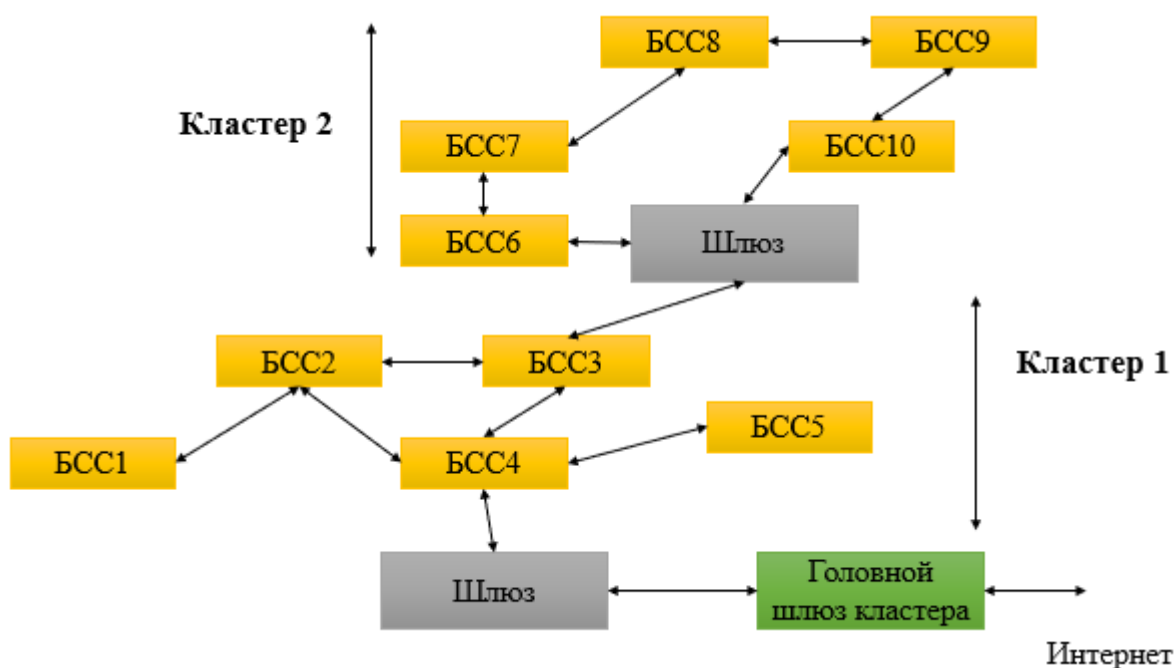


Рисунок 7.4. Мультикластерная архитектура для сети узлов

Количество кластеров, связанных со шлюзом головки кластера, зависит от требуемого покрытия в сети. Когда головка кластера существует, шлюз соединяет два кластера. Каждый узел подключается к соседнему на небольшом расстоянии. Узел подключается к узлу шлюза через один, два или более переходов при подключении к БСС другого кластера. Когда узел перемещается на большие расстояния, он связывается с соседним кластером через шлюз. Кластер 1 представляет собой сеть ad-hoc мобильных БСС (БСС1 – БСС5). БСС в кластере могут иметь ячеистую или многоуровневую архитектуру. Каждый БСС подключается к другому БСС в своем беспроводном диапазоне. Кластер 2 представляет собой сеть ad-hoc мобильных БСС (БСС6 – БСС10). Кластерная архитектура обеспечивает уплотнение или слияние и агрегацию данных. Шлюз передает сжатые или агрегированные данные другому кластеру. Головка кластера дополнительно агрегирует, сжимает или объединяет данные перед передачей на веб-сервер или облако с использованием Интернета.

Протоколы беспроводной сенсорной сети

Цели разработки сетевых протоколов заключаются в следующем:

- ограничить вычислительные потребности;

– ограничить использование заряда батареи и, следовательно, ограничить пропускную способность, работу в самоконфигурируемом режиме специальной настройки и

– ограничить требования протокола к памяти.

Физический уровень осуществляет адаптивное управление радиочастотной мощностью приемопередатчика; снижает мощность в случае соседнего узла, увеличивает мощность, когда ближайший узел находится на большем расстоянии, использует схемы ASIC малой мощности КМОП и энергоэффективные коды

Протокол управления доступом к мультимедиа канального уровня (MAC)

Протокол S-MAC (Sensor-MAC) может быть развернут на уровне канала передачи данных. Узлы S-MAC переходят в спящий режим на продолжительное время. Им необходимо синхронизироваться через определенные промежутки времени. Протокол S-MAC позволяет использовать энергоэффективную передачу без коллизий и периодически синхронизировать операции. Передача без конфликтов является результатом планирования канала. Каждому узлу может быть выделен канал. Каналы используются повторно, так что передача происходит без коллизий, и повторная передача не прибегает к использованию.

Протоколы маршрутизации

Сетевой уровень использует определение многопереходного маршрута, энергоэффективную маршрутизацию, кэширование маршрутов и направленное распространение данных. Протоколы маршрутизации бывают проактивными или реактивными. Проактивные протоколы хранят кэш маршрутов и заранее определяют маршрут. Реактивные протоколы определяют маршрут по требованию. Протоколы маршрутизации управляются таблицами, когда таблица маршрутизации определяет доступные пути. Протоколы маршрутизации управляются спросом, когда источник запрашивает маршрут и определяет доступные пути. Фиксированные беспроводные сенсорные сети могут использовать маршрутизацию шлюзового коммутатора в головке кластера (Cluster-head Gateway Switch Routing – CGSR), которая определяет пути с использованием эвристических схем маршрутизации.

Создание инфраструктуры беспроводной сенсорной сети

Когда инфраструктура БСС устанавливает следующие шаги, которые необходимо учитывать:

– Датчики с соответствующими КМОП-схемами ASIC малой мощности, их радиодиапазоны и энергоэффективное кодирование;

– Выбор инфраструктуры: фиксированная соединительная инфраструктура узлов, координаторов, ретрансляторов, шлюзов и маршрутизаторов или мобильная одноранговая сеть мобильных БСС с ограниченным или неуказанным регионом мобильности;

– Топология и архитектура сети в соответствии с приложениями и услугами, архитектура сети беспроводной многоскачковой инфраструктуры или многокластерная архитектура;

– Протоколы самообнаружения сетевых узлов, самоконфигурации и самовосстановления, локализации, диапазона мобильности, безопасности, протоколов передачи данных и маршрутизации, индикатор качества канала (link quality indicator – LQI) (коэффициент приема пакетов), диапазон покрытия и качество обслуживания, необходимые в соответствии с требованиями приложения и услуги;

– Кластеры, шлюзы кластеров, головки кластеров и иерархия кластеров;

– Маршрутизация, агрегирование данных, уплотнение, объединение и прямое распространение;

– Синхронизация времени через прерывистые интервалы, поскольку время используется в качестве эталона при оценке межузлового расстояния с учетом задержек, локализации, дальности и услуг определения местоположения.

Различные подходы к интеграции беспроводной сенсорной сети

БСС нуждается в комплексных подходах для:

- Проектирование узлов и предоставление ресурсов;
- Локализация узлов;
- Мобильность узла;
- Архитектура подключения датчиков;
- Архитектура сенсорных сетей;
- Протоколы распространения данных;
- Протоколы безопасности;
- Канальный уровень и протоколы маршрутизации;
- Интеграция с данными датчиков, кроме данных беспроводных датчиков, для приложений и услуг Интернета вещей.

Качество обслуживания (QoS)

Качество обслуживания (QoS) – это средневзвешенный показатель QoS за время существования сети. Вот несколько показателей:

1. Средняя задержка: мера времени, затраченного на генерацию данных датчиков и их доставку до пункта назначения;
2. Срок службы: время, в течение которого БСС функционирует эффективно или с учетом энергетических ресурсов режимов. Продлится;
3. Пропускная способность: байты в секунду доставляются к месту назначения. Низкая пропускная способность означает большие задержки. Это также относится к пропускной способности сети и индикатору качества канала, который означает количество доставленных пакетов/пакетов, переданных с узлов.

Приложения связи в реальном времени через сенсорные сети БСС требуют предоставления гарантированных характеристик максимальной задержки, минимальной пропускной способности или других параметров QoS.

Проблемы высокого QoS заключаются в следующем: маршрутизация через узлы с высокой пропускной способностью, меньшей задержкой и путями, использующими низкие энергетические ресурсы; соединение и поддержание продукта приоритета и задержки, что означает, что пакеты с более высоким приоритетом выбирают пути с меньшей задержкой, а пакеты с более низким приоритетом занимают пути с более высокой задержкой.

Метрикой является покрытие сенсорной сети. Покрытие зависит от плотности и расположения узлов в регионе, дальности связи и чувствительности узлов. Другой показатель – это процент случаев, когда сеть покрывает возникновение события в случае систем наблюдения, опасных химических веществ или систем обнаружения пожара.

Конфигурация

Проблемы настройки с учетом ограничений ресурсов с узлами статически, динамически или самоавтоматически заключаются в следующем: расположение и диапазон мобильности узлов БСС; кластеры; шлюзы; головки кластера; частота дискретизации измеренных параметров; их агрегирование, уплотнение и объединение.

Проблемы должны быть решены с ограниченной мощностью батареи, хранилищем, вычислительными возможностями, пропускной способностью и ограничениями масштабируемости на узлах.

Защищенная связь узлов беспроводной сенсорной сети

Сенсорным сетям необходима безопасная связь для обеспечения конфиденциальности и целостности данных. Аутентификация гарантирует получение данных только от сенсорного узла, поддерживает целостность данных и отключает передачу сообщений из неаутентифицированных источников. Конфиденциальность обеспечивает секретность данных и их подслушивание (вход без разрешения).

Лаборатории Беркли предложили SPINS (Security Protocols in Network of Sensors – протоколы безопасности в сети датчиков). SPINS использует симметричный криптографический протокол по следующим причинам: асимметричный криптографический метод, который требует больших затрат памяти и вычислений для цифровых подписей, генерации ключей и проверки. Он также имеет высокие требования к памяти и передает большее количество байтов по сравнению с симметричным методом.

SPINS – это набор протоколов безопасности для сенсорных сетей, а именно:

1. Протокол шифрования сети (SNEP);
2. μ -Tesla.

SPINS используют функции блочного шифрования.

SNEP обеспечивает безопасную связь «точка-точка». Это обеспечивает конфиденциальность и целостность данных. Он защищает связь после процесса аутентификации. Он не требует повторного воспроизведения сообщения, поэтому сообщение остается свежим.

Точка доступа распределяет сеансовый ключ между А и В с помощью SNEP. Два узла, А и В, имеют шесть общих ключей. Ключи шифрования K_{AB} и K_{BA} , ключи кода аутентификации сообщения (MAC) для связывания блоков шифра, K_{AB} и K_{BA} , а также ключи счетчика C_A , C_B являются общими ключами. MAC обеспечивает целостность и конфиденциальность сообщений.

μ -TESLA – это облегченная версия TESLA. Это обеспечивает аутентифицированное вещание. Аутентификация является микросинхронной и эффективной. Это обеспечивает безопасную аутентификацию, устойчивую к потерям потока. Сначала пакет прослушивается и рассматривается как родительский. Его подлинность будет подтверждена позже. Это делает безопасную аутентификацию устойчивой к потере потока. Распределенные сенсорные сети используют схему управления ключами, которая может быть основана на вероятностном совместном использовании ключей или случайном совместном использовании ключей с предварительным распределением ключей.

Протокол локализованного шифрования и аутентификации

Различные пакеты при использовании протокола локализованного шифрования и аутентификации (Localised Encryption and Authentication Protocol – LEAP) используют различные механизмы ключа. Требования безопасности определяют механизм. Узел использует четыре ключа: индивидуальный ключ, групповой ключ, кластерный ключ и делится парой ключей с соседом. Проблема для высокораспределенной архитектуры с локализованной координацией заключается в реализации целей системы для приложений и сервисов. Потребности в реализации включают автономную работу, самоорганизацию, самоконфигурацию, адаптацию, энергосбережение на физическом, MAC, канале, маршруте, прикладном уровне, проектирование масштабируемой плотности узлов, количество и типы сетей. Сеть является сетью, ориентированной на данные, а узлы маршрутизации не имеют адресности.

Применение беспроводных сенсорных сетей в IoT

БСС все чаще используются в качестве подсистемы в приложениях и сервисах на основе IoT. БСС может функционировать как источник данных вместе с другими системами

и подключаться через шлюз и точку доступа к Интернету. Примером специфичного для БСС приложения IoT является система управления и мониторинга умного дома. В подключенном доме в умном доме развернуты следующие приложения:

1. Мобильные телефоны, планшеты, IP-телевидение, телефония VOIP, видеоконференции, видео по запросу, видеонаблюдение, Wi-Fi и Интернет;

2. Узлы БСС и беспроводные исполнительные узлы, которые могут быть построены с использованием ZigBeeIP, являются узлами для контроля доступа к системе безопасности дома и оповещений безопасности, управления освещением, домашнего здравоохранения, обнаружения пожара, обнаружения утечек, энергоэффективности, мониторинга и управления солнечными панелями, мониторинга температуры и управления HVAC и автоматического считывания показаний счетчиков.

Контрольные вопросы:

1. Что такое беспроводная сенсорная сеть (БСС) и каковы её основные компоненты?
2. Какова история развития БСС и в каких областях они начали применяться?
3. Что подразумевается под контекстно-зависимыми операциями узлов БСС?
4. Каковы ключевые элементы архитектуры узла БСС и их функции?
5. В чем разница между фиксированной и мобильной ad hoc сетью БСС?
6. Какие протоколы управления доступом и маршрутизации используются в БСС?
7. Каковы основные задачи и преимущества агрегации данных в БСС?
8. Какие аспекты безопасности являются критическими для беспроводных сенсорных сетей?
9. Как качество обслуживания (QoS) влияет на производительность БСС?
10. В каких приложениях и сервисах БСС находит своё применение в рамках IoT?