

БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Рац Р.А., магистрант

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь», г. Минск, Республика Беларусь

Аскерко А.В. – кандидат военных наук, доцент

Аннотация: В статье рассмотрены состав и структура беспроводных сенсорных сетей (БСС), типовая архитектуры сенсорного узла как элемента сети. Представлен стандарт IEEE 802.15.4 для организации связи между узлами. Описаны технологии организации связи узлов в БСС. Проведен сравнительный анализ таких технологий организации связи как ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi.

Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети, сенсоры, стандарты беспроводных сенсорных сетей

Современный этап развития информационно-коммуникационных технологий характеризуется активным внедрением распределенных систем мониторинга и управления, основу которых составляют БСС. Они представляют собой самоорганизующиеся сети и состоят из множества распределенных в пространстве беспроводных сенсорных узлов, предназначенных для мониторинга характеристик окружающей среды или объектов, расположенных в ней. Актуальность исследований в области БСС обусловлена широким спектром их применения: от экологического мониторинга и промышленной автоматизации до систем охраны, здравоохранения и оборонных приложений.

Сенсорные узлы развертываются с высокой плотностью и часто в больших количествах и поддерживают распознавание, обработку данных, встроенные вычисления и связь. Ресурсы сенсорных узлов в беспроводных сенсорных сетях ограничены с точки зрения возможности обработки информации, пропускной способности, объема памяти, вычислительных возможностей, что существенно отличает беспроводные сенсорные сети от других сетей [2]. Именно эти ограничения определяют основные требования к архитектуре, протоколам и технологиям, используемым при построении БСС. Они состоят из двух основных типов узлов [1]:

- сенсоры (сенсорные узлы), которые развертывают в местах мониторинга (сенсорное поле) для сбора данных изучаемого явления или процесса и их передачи на базовые станции;

- базовая станция (БС), также известная как шлюз или приемник, является интерфейсом, соединяющим сенсорную сеть с внешним миром. БС может являться центральной точкой в сенсорном поле или находиться в отдалении от него (рисунок 1).

БС несет ответственность за получение данных от сенсоров, их обработку и доставку конечному пользователю разнообразными способами, включая телекоммуникационную сеть онлайн или через спутник и другие сети. В современных реалиях базовая станция часто интегрируется с облачными платформами, что позволяет осуществлять хранение и анализ больших объемов данных. Структура беспроводной сенсорной сети приведена на рисунке 2 [1].

Каждая БСС состоит из беспроводных сенсорных узлов. Беспроводные сенсорные узлы представляют собой миниатюрные устройства с ограниченными ресурсами, связанными с зарядом батареи, объемом памяти и вычислительными возможностями.

Параметры узлов сети в зависимости от назначения сети могут варьироваться. При проектировании того или иного вида сети необходимо учитывать возможности узлов: энергоэффективность, вычислительные способности, возможность автономной работы и т. п.

Примеры конструкций современных сенсорных узлов приведены на рисунке 3.

Типовая архитектура сенсорного беспроводного узла состоит из четырех основных компонентов: источник питания, датчик, блок обработки, система связи (рисунок 4) [1].

Датчик собирает аналоговые данные из физического мира, и АЦП преобразует эти данные в цифровые данные. Основой процессор, который обычно является микропроцессором или микроконтроллером, выполняет интеллектуальную обработку данных и манипулирование ими. В современных узлах широко используются архитектуры ARM Cortex-M, а также специализированные чипы с поддержкой аппаратного шифрования.

В зависимости от решаемой задачи число сенсорных узлов в беспроводных сенсорных сетях, размещенных в сенсорном поле, может изменяться от нескольких сотен до тысяч или более.

Несмотря на название, сенсорный узел состоит не только из сенсорного компонента, но и из других важных объектов, таких как устройства обработки, связи и хранения. Благодаря всем этим функциям, компонентам и усовершенствованиям узел датчика отвечает за сбор данных физического мира, анализ сети, корреляцию данных и объединение данных другого датчика

с собственными данными. В зависимости от определенного конкретного применения сенсорные узлы могут также включать в себя дополнительные компоненты, такие как система позиционирования, чтобы определить их положение, мобилизатор, чтобы изменить их местоположение или конфигурацию (например, ориентация антенны), и так далее.

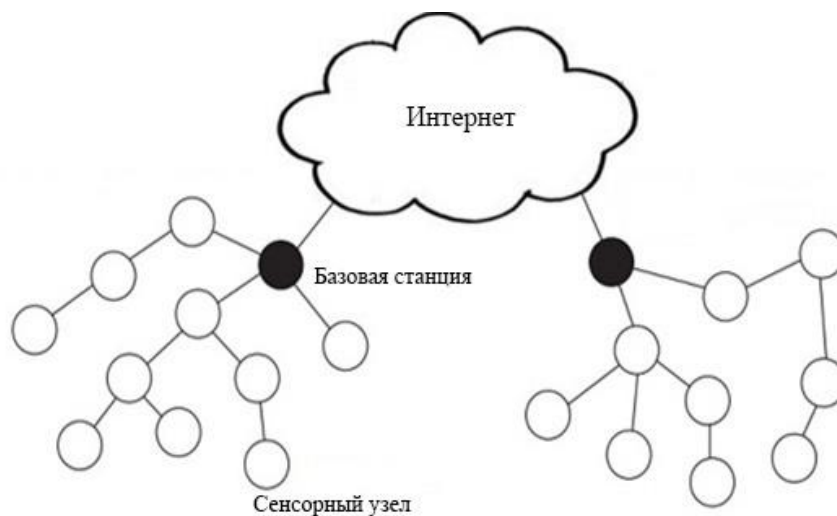


Рисунок 1 – Базовая станция в сети

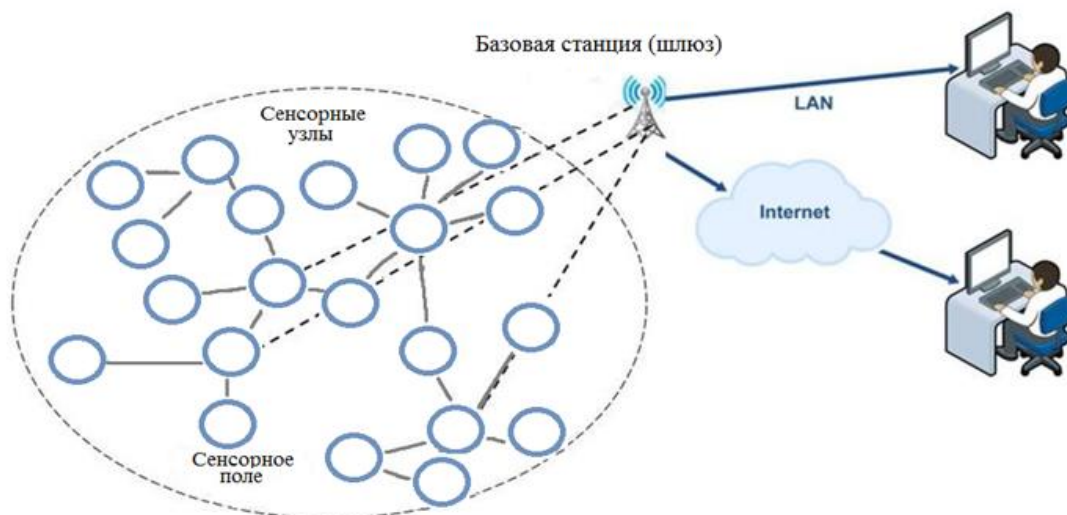


Рисунок 2 – Структура БС

Размеры

Внешний вид с антенной



Рисунок 3 – Сенсорные узлы



Рисунок 4 – Типовая архитектура сенсорного узла

Для организации связи между узлами разработан стандарт *IEEE 802.15.4*. К этому стандарту относится технология *ZigBee* [2], позволяющая создавать самоорганизующиеся и самовосстанавливающиеся беспроводные сети с автоматической ретрансляцией сообщений и поддержкой батарейных и мобильных узлов. Сети *ZigBee* при относительно небольших скоростях передачи данных обеспечивают гарантированную доставку пакетов и защиту передаваемой информации.

Стандарт *ZigBee* предусматривает частотные каналы в диапазонах 868 МГц, 915 МГц и 2,4 ГГц. Наибольшие скорости передачи данных и наивысшая помехоустойчивость достигаются в диапазоне 2,4 ГГц. Скорость передачи данных вместе со служебной информацией в эфире составляет 250 кбит/с. При этом средняя пропускная способность узла для полезных данных в зависимости от загруженности сети и числа ретрансляций может лежать в пределах 5...40 кбит/с [2].

Расстояние между узлами сети составляют десятки метров при работе внутри помещения и сотни метров на открытом пространстве. За счет ретрансляций зона покрытия сети может значительно увеличиваться. В основной сети *ZigBee* лежит ячеистая топология (*mesh*-топология). В такой сети каждое устройство может связываться с любым другим устройством как напрямую, так и через промежуточные узлы сети. Ячеистая топология предлагает альтернативные варианты выбора маршрута между узлами. Сообщения поступают от узла к узлу, пока не достигнут конечного получателя.

Исключением из стандарта можно считать технологию *Bluetooth*, описываемую стандартом *IEEE 802.15.1*. Беспроводная сеть *Bluetooth* в классическом понимании – это беспроводная одноранговая динамическая сеть с переменным числом мобильных узлов с децентрализованным управлением, которая может быть развернута в ограниченном пространстве (с числом узлов до 80). Радиосвязь *Bluetooth* осуществляется в безлицензионном *ISM*-диапазоне (2,4...2,4835 ГГц) со скоростями 1 Мбит/с (версия 1.2); 3 Мбит/с (версия 2.0); 24 Мбит/с (версия 3.0) [2].

Для *Bluetooth* характерно стихийное создание мобильной сети массового пользователя, когда практически любой человек, владея таким радио интерфейсом, может к ней без труда подключиться, если, конечно, не решена политика безопасности от несанкционированного доступа. Это становится первостепенной задачей при использовании технологии *Bluetooth* для БСС.

Если говорить о *ZigBee*, то для этой технологии уже предусмотрены программно-аппаратные средства в виде *AES*-криптозащиты. В отличие от *Bluetooth*, *ZigBee* сеть представляет собой распределенную самоорганизующуюся беспроводную структуру, которая может простирается на многие километры и состоять из большого числа узлов. В ее архитектуре помимо возможностей подключения датчиков предусмотрено наличие центрального узла управления (в виде точки доступа с возможностью для подключения стационарного ПК или переносного компьютера, выполняющего функции управления и обработки информации). В настоящее время технология *ZigBee*, разработанная непосредственно для БСС, является по сути единственной технологией, с помощью которой можно решить любые задачи мониторинга и контроля, которые в том числе критичны ко времени отклика от датчиков.

Wi-Fi технология позволяет строить беспроводные самоорганизующиеся сети инфраструктурного типа, т. е. создавать многоточечную топологию с беспроводной точкой доступа для подключения мобильных абонентов. Однако такая топология, скорее является одним из недостатков, если рассматривать ее как вариант самоорганизующейся сети – выход из строя базовой станции приводит к падению мобильной радиосети в целом. В сетях *Wi-Fi* используются несколько модификаций стандарта 802.11 [3]. Основным преимуществом технологии являются простота принципов построения и настроек мобильного абонента под беспроводную сеть, но при этом *Wi-Fi* существенно проигрывает *ZigBee* по мобильности и энергопотреблению.

Сравнительный анализ технологий организации связи узлов БСС приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Стандарты организации связи

Параметр	Стандарт		
	<i>Bluetooth</i>	<i>ZigBee</i>	<i>Wi-Fi</i>
Частота, ГГц	2,4	0,868/0,915/2,4	2,4,5...6
Число каналов	79	1/10/16	14
Скорость передачи	3 Мбит/с	20...250 кбит/с	11...10 Гбит/с
Уровень OSI	Физический, канальный	Физический, канальный (сетевой – приложения)	Физический, канальный
Радиус действия, м	10	10...100	100
Полоса пропускания канала, МГц	1	0,3/0,6; 2	22
Модуляция	<i>GFSK</i>	<i>BPSK, O-QPSK</i>	<i>BPSK, QPSK, COFDM, CCK, MQAM, QAM</i>
Число устройств в Сети	8	65 000	2007
Уровень мощности, дБ	0...30	От 0 (1 мВт)	20
Потребляемая мощность	40 мА ТХ, в режиме ожидания 0,2 мА	30 мА ТХ, в режиме ожидания 3 мкА	400 мА, в режиме ожидания 20 мА

Свойства сети зависят от многих факторов, таких как характеристики зоны (области) обслуживания, число и распределение узлов на плоскости или в пространстве, их параметры и других. Сеть может состоять из огромного числа узлов, для взаимодействия которых и обеспечения передачи данных используется кластеризация сети. Кластерная организация является эффективной и масштабируемой для функционирования БСС [2], но лишь при условии рационального выбора головного узла кластерной сети в конкретный момент времени.

Список использованных источников:

1. Авдеев А.А., Долматов Е.А. и др. *Инфокоммуникационные системы специального назначения. Учебное пособие* – СПб.: ВАС, 2017. – 456 с.
2. Лихтциндер Б.Я., Киричек Р.В., Федотов Е.Д., Голубничая Е.Ю. *Беспроводные сенсорные сети. Учебное пособие для вузов / Б.Я. Лихтциндер, Р.В. Киричек, Е.Д. Федотов.; Под общей редакцией Б.Я. Лихтциндера.* – М.: Горячая линия – Телеком, 2021. – 236 с.
3. Олифер В., Олифер Н. *Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы (6-е издание)* – СПб.: Питер, 2021. – 1008 с.

UDC 621.396.4

BASIC PRINCIPLES OF BUILDING WIRELESS SENSOR NETWORKS

Rats R.A.

Military Academy of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Askerko A.V., PhD of military science, assistant professor

Annotation: This article examines the composition and structure of wireless sensor networks (WSNs) as well as the typical architecture of a sensor node as a network element. The IEEE 802.15.4 standard for establishing communications between nodes is presented. Technologies for establishing communications between nodes in WSNs are described. A comparative analysis of communication technologies such as ZigBee, Bluetooth and Wi-Fi are provided.

Keywords: wireless sensor networks, sensors, wireless sensor technology standards.