

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ УСТРОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ZIGBEE

Беспроводные сенсорные сети продолжают быть особо востребованными при разработке технического обеспечения в сфере мониторинга и управления комплексными системами распределенных объектов. Предлагается структура аппаратно-программного обеспечения для управления техническими устройствами на основе технологии ZigBee, проведены испытания радио модулей стандарта IEEE 802.15.4 на дальность. На основании полученных результатов даны рекомендации о целесообразности использования технологии ZigBee для построения систем управления.

1. Введение

Одной из актуальных задач является построение эффективных систем дистанционного управления различными устройствами. В системах промышленной телеметрии и управления поднимается вопрос передачи данных на небольшие расстояния. Беспроводные сети на базе стандарта IEEE 802.15.4 представляют собой альтернативу проводным соединениям в распределенных системах мониторинга и управления и отличаются более гибкой архитектурой, требуют меньших затрат при их установке и эксплуатации. Объединенные в беспроводную сенсорную сеть датчики образуют территориально распределенную самоорганизующуюся систему сбора, обработки и передачи информации. Построение систем управления по таким технологиям, несомненно, представляет собой нестандартный и вместе с тем эффективный способ решения проблемы.

Технология ретранслируемой ближней радиосвязи 802.15.4/ZigBee, известная как «Сенсорные сети» (англ. WSN – Wireless Sensor Network), является одним из современных направлений развития самоорганизующихся отказоустойчивых распределенных систем наблюдения и управления ресурсами и процессами.

ZigBee – название набора протоколов высокого сетевого уровня, использующих маленькие, маломощные радиопередатчики, основанные на стандарте IEEE 802.15.4. Этот стандарт описывает беспроводные персональные вычислительные сети (WPAN). ZigBee нацелена на приложения, которым требуется большее время автономной работы от батарей и большая безопасность, при меньших скоростях передачи данных.

Особенность ZigBee заключается в том, что, в отличие от других беспроводных технологий, она предназначена для реализации не только простых соединений “точка-точка” и “звезда”, но также и сложных сетей с топологиями “дерево” и “ячеистая сеть”, способных поддерживать ретрансляцию и поиск наиболее эффективного маршрута для передачи данных. Технология ZigBee может применяться для создания беспроводных сетей, а также устройств автоматического считывания показаний датчиков, охранных систем, систем управления промышленными объектами, «Интеллектуальными домами и офисами».

В основе сети ZigBee лежит ячеистая топология (mesh-топология), где каждое устройство может связываться с любым другим устройством как напрямую, так и через промежуточные узлы, предлагает альтернативные варианты выбора маршрута между узлами, пока информация не достигнет конечного получателя [1].

Спецификация IEEE 802.15.4 выдвигает требования к безопасности передачи данных – обязательное использование шифрования 128-битным ключом по стандарту AES на уровне «Звена Данных» (Data link layer). Стандарт 802.15.4 предполагает наличие уникального 64-битного адреса на MAC уровне, а так же наличия дополнительного 16-битного сетевого адреса (PAN-ID) для определения принадлежности данного устройства к той или иной WPAN (Wireless Personal Area Network).

Сегодня технология беспроводных сенсорных сетей, является единственной беспроводной технологией, с помощью которой можно решать задачи мониторинга и контроля, которые критичны к времени работы датчиков.

Первым способом экономии энергии узлами сети является разрежение интервалов активности их устройств, и в первую очередь передатчика, как основного потребителя. Для обеспечения разумного времени жизни сети, доля интервалов активности радиопередачи должна составлять порядка 0.1% от общего времени работы.

Определение времени включения передачи – задача алгоритмов уровня доступа к среде стека сетевых протоколов. Существующие алгоритмы отличаются друг от друга подходом к упорядочению периодов активности радио между узлами сети, способом определения готовности принимающей стороны, способом определения занятости среды передачи.

Вторым способом экономии на алгоритмическом уровне является многозвенная передача, т.е. отправка сообщений из одной точки сети в другую по цепочке промежуточных узлов вместо прямой дальней радиопередачи.

Третий способ предполагает по возможности обрабатывать результаты измерений на узлах, так как в ряде задач предварительные вычисления на месте могут быть эффективнее передачи «сырых» данных в центр обработки. Это позволяет сократить объем данных, которые необходимо передать, и, соответственно, уменьшить время работы сенсора в режиме передачи.

Таким образом, устройства стандарта ZigBee обладают такими характеристиками энергопотребления, которые теоретически позволяют использовать одну небольшую батарею для поддержания работоспособности ZigBee-оборудования в течение нескольких месяцев и даже лет.

Среди прочих достоинств стандарта следует отметить хорошую масштабируемость, возможность самовосстановления в случае сбоев и простоту настройки. При применении 64-битной адресации в единую сеть могут быть объединены свыше 60 тысяч ZigBee-устройств.

Отмеченные преимущества технологии ZigBee положены в основу при проектировании системы дистанционного управления светодиодной матрицей.

Целью работы являлась разработка системы дистанционного управления на основе сенсорной сети, построенной на технологии ZigBee, а также исследование характеристик дальности и качества связи между узлами.

2. Постановка задачи исследования

Системы дистанционного управления дают возможность управлять техническими и электронными устройствами при отсутствии непосредственного контакта с управляемыми объектами. Такие системы незаменимы в промышленности, когда недопустимо присутствие человека при протекании техпроцесса, но необходим строгий контроль последнего. Постоянное совершенствование технических процессов и усложнение оборудования определяет потребность в более совершенных и надежных системах дистанционного управления.

В этой связи стояли следующие задачи исследования:

1. Разработка структурной схемы системы дистанционного управления светодиодной матрицей.
2. Разработка аппаратных и программных средств для управления.
3. Адаптация структурной схемы системы дистанционного управления для работы с использованием технологии ZigBee.
4. Исследование системы дистанционного управления в реальных условиях.
3. Система дистанционного управления светодиодной матрицей на основе технологии ZigBee.

В ходе исследований разработана светодиодная матрица, реализующая функции отображения текстовой информации в виде бегущей строки, а также графической информации в виде несложных рисунков.

Система включает аппаратную и программную части. Для реализации устройства отображения информации использовались традиционные решения. Все поле отображения разделяется на структурные единицы – блоки индикации разрешением 16x16 точек. Формирование кадра развертки происходит по принципу динамической индикации для всех структурных единиц поля отображения одновременно. Для этого в каждом блоке индикации строки формируют два сдвиговых регистра, а смену строк производит дешифратор

4х16. Динамическая индикация при этом представляет собой последовательную смену строк кадра с такой скоростью, при которой он воспринимается человеком как единое изображение.

Разработка программного обеспечения системы дистанционного управления включает два этапа:

- создание драйвера блока индикации, реализующего функции отображения, а также взаимосвязи аппаратного уровня системы со средой передачи данных;
- создание клиентского программного обеспечения, формирующего управляющие запросы – терминала управления.

На первом этапе формируется алгоритм отображения визуальной информации и система команд управления, при этом заранее оговаривается действие устройства при поступлении соответствующей команды. На втором – разрабатывается программное обеспечение, которое именуется как среда управления.

Алгоритм формирования изображения основывается на создании программного видеобуфера. Обеспечивая непрерывный вывод содержимого данного буфера на поле отображения, возможно формировать анимационную картинку, в том числе и бегущую строку, записью в видеобуфер различной информации.

Поскольку принимаемая информация представляет собой символы, закодированные согласно таблице ASCII, принято решение использовать команды размером 1 байт с шестнадцатеричным кодом в пределах от 0х00 до 0х20. Решение обосновано тем, что данные символы в таблице ASCII не относятся к текстовым, а, следовательно, не несут в себе практического значения для реализации функций бегущей строки.

Взаимосвязь аппаратного уровня системы управления со средой передачи осуществляется посредством последовательного протокола передачи RS-232. В связи с ограниченностью дальности связи данного протокола (при использовании витой пары дальность составляет порядка 15 м), принято решение перейти от проводного исполнения к беспроводному. Структурная схема системы управления светодиодной матрицей представлена на рис. 1.

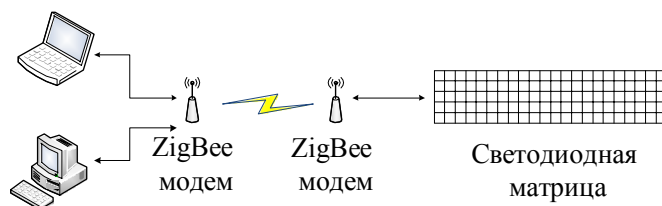


Рис. 1. Структурная схема системы управления светодиодной матрицей

Для формирования радиоканала использовались приемопередатчики XBee24 со встроенным программным стеком ZigBee. Таким образом, для передачи информации ее необходимо отправить в последовательный порт модуля XBee. Функции кодирования и разбиения на пакеты выполняет встроенный программный стек радиомодуля.

Выбор технологии беспроводной передачи обоснован тем, что обеспечивается достаточная пропускная способность сети для передачи управляющих команд, а также загрузки данных в блок отображения информации светодиодной матрицы. Кроме того, данное решение позволяет сделать управляемое устройство частью распределенной сети мониторинга, что в свою очередь делает возможным выводить эти данные напрямую на устройство отображения. Самовосстановление сети позволит в случае выхода из строя ретранслятора не потерять связь с управляемым устройством. Безопасность канала передачи обеспечивает используемая в технологии ZigBee система шифрования данных с 128-битным ключом [1].

В простейшем своем варианте система дистанционного управления светодиодной матрицей строится на топологии сети «точка-точка». Из доступных на территории Украины для развертывания сети ZigBee были выбраны приемопередатчики Xbee24 компании Digi (Maxstream).

Характеристики модулей XBee и XBee Pro представлены в табл.1.

Таблица 1

Параметры	XBee	XBee PRO	XBee Ser. 2
Радиус действия в помещении, м	30	100	40
Радиус действия в свободном пространстве, м	100	1200	120
Максимальная выходная мощность, мВт	1	100	2
Скорость передачи данных по радиоканалу, бит/с	250000		
Скорость передачи данных по интерфейсу, бит/с	1200...115200		
Чувствительность, дБм	-92	-100	-97
Ток потребления в режиме энергосбережения, мкА	10		1
Рабочая частота, ГГц	2,4		
Количество каналов	16	13	16
Количество адресов в сети	65000		
Рабочий диапазон температур, °C	-40...85		

Анализируя информацию, представленную в таблице, можно сделать вывод, что при построении сети в помещении с использованием модулей XBee ретрансляторы необходимо располагать на расстоянии порядка 30 м, а с использованием XBee Pro – 100м. Однако стоит помнить, что с увеличением дальности связи существенно возрастает энергопотребление модуля.

4. Исследование приемопередатчиков на дальность связи

Цель эксперимента – определение реальной дальности связи в закрытых помещениях с использованием беспроводных модулей XBee в условиях городской застройки, а также определение практических рекомендаций по их использованию в системах дистанционного управления.

Оценка количества принятых и потерянных пакетов проводилась с использованием бесплатной программы X-CTU. Она позволяет оценивать уровень сигнала RSSI, и подсчитывать процент принятых пакетов длиной 1 при задержке пакета t и расстоянии между модулями S .

Полученные результаты экспериментальных исследований на дальность связи в помещении представлены в табл.2.

Таблица 2

№	t, мс	Пакеты			RSSI, дБ	S, м	l
		good	bad	good, %			
1	1000	77	23	77	85	30	2
2		97	3	97	82	25	
3		98	2	98	78	20	
4		100	0	100	70	15	
5		100	0	100	63	10	
6		100	0	100	55	5	
7		100	0	100	40	0	

Графически результаты теста представлены на рис.3.

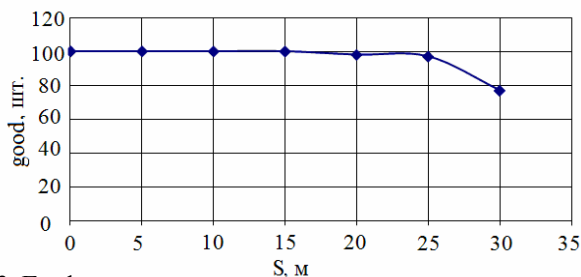


Рис.3. График зависимости принятых пакетов от расстояния

Фактически достаточный для приема уровень сигнала наблюдался и на расстоянии порядка 70 м, однако при попытках передачи потока информации количество потерянных пакетов носило непредсказуемый характер, и, следовательно, делать вывод о качественной передаче в этом случае нельзя. Из этого следует, что располагать на таком расстоянии соседние узлы сети в условиях помещения не рекомендуется. Решить вопрос дальности можно путем использования более мощных модулей серии XBee Pro, либо установкой ретрансляторов. Какой из способов более предпочтителен зависит от конкретно поставленной задачи.

Результаты теста на дальность на открытой местности представлены в табл.3.

Таблица 3

№	t, мс	Пакеты			RSSI, дБ	S, м	l
		good	bad	good, %			
1	1000	171	29	85,5	88	110	32
2		177	23	88,5	86	100	
3		192	8	96	85	90	
4		194	6	97	83	80	
5		195	5	97,5	83	70	
6		196	4	98	82	60	
7		198	2	99	82	50	
8		198	2	99	79	40	
9		199	1	99,5	74	30	
10		200	0	100	73	20	
11		200	0	100	68	10	
12		200	0	100	40	0	

Графически результаты теста представлены на рис. 4

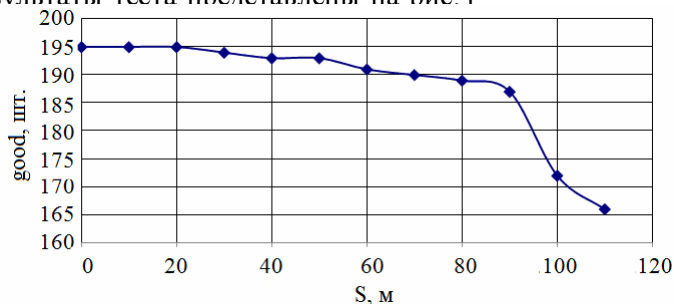


Рис.4. График зависимости принятых пакетов от расстояния

В большинстве практических реализаций, сети ZigBee эксплуатируются внутри помещений, а не на открытом пространстве в условиях прямой видимости между узлами. Для таких случаев часто применима модель распространения радиосигналов внутри помещений – модель логарифмически-нормального распределения потерь в тракте [2]:

$$Pl(d) = Pl(d_0) + 10\alpha \log \frac{d}{d_0} + N(0, \sigma_{ch}^2) = \overline{PL}(d) + N(0, \sigma_{ch}^2) \text{ [дБ]},$$

где d – расстояние между передатчиком и приемником (м); d_0 – эталонное расстояние (м); α – показатель степени потерь в тракте; $N(0, \sigma_{ch}^2)$ – случайная гауссова переменная с нулевым средним и дисперсией $N(0, \sigma_{ch}^2)$.

На открытом пространстве существуют преграды (металлоконструкции зданий, разнообразные технические средства и т.д.), которые оказывают значительное влияние на прохождение сигнала. Перемещение людей также приводит к изменению качества связи. Это объясняется тем, что в точке приема сходятся сигналы, отраженные от множества окружающих предметов (многолучевой прием). При этом в зависимости от взаиморасположения окружающих предметов сигналы в точке приема могут, как усиливаться, так и ослабляться, о чем и свидетельствуют результаты экспериментальных исследований.

Проведенные исследования на открытой местности показали, что реальная дальность связи несколько превышает показатели, заявленные производителем, однако добиться стабильной передачи на этой дальности не удастся. Поэтому необходимо располагать узлы на меньшем расстоянии друг от друга.

Анализируя теоретические сведения и полученные практические результаты можно сделать вывод, что рекомендуемым расстоянием между узлами, внутри помещений, является расстояние, не превышающее 25 метров, а для открытого пространства с учётом возможных преград – 60 метров. При наличии явных преград необходимо использовать ретрансляторы, либо располагать модули в пределах прямой видимости.

4. Заключение

Построение систем дистанционного управления на основе технологии ZigBee, в настоящее время продолжает быть востребованным. Данная технология полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам управления распределёнными объектами, хотя и имеет некоторые недостатки, в частности, относительно небольшая дальность связи между двумя узлами и низкая пропускная способность радиоканала. Последний параметр не является критичным в системах управления при передаче управляющих команд, но тем не менее данная пропускная способность оказалась достаточной для передачи текстовой информации между персональным компьютером и блоком индикации светодиодной матрицы.

Научная новизна работы. Проведен анализ преимуществ технологии ZigBee и на основе экспериментального исследования системы управления устройством отображения информации предложена методика её применения для реализации дистанционного управления распределёнными объектами, определены допустимые и эффективные расстояния между компонентами сенсорной сети при наличии различных источников помех. Сети, использующие технологию ZigBee, позволят объединить в единую систему большое количество управляемых объектов, которые одновременно могут взаимодействовать как между собой, так и с терминалом управления.

Практическая значимость. Разработанная структура дистанционного управления светодиодной матрицей имеет практическую реализацию и получила реальное внедрение в составе информационного обеспечения учебного процесса. Преимуществами технологии ZigBee является возможность построения сложной топологии сети, низкое энергопотребление, доступная с точки зрения пользователя стоимость оборудования относительно других стандартов беспроводной связи. В связи с этим потребность применения данной технологии в системах дистанционного управления растёт, особенно для управления и информационного обеспечения движущихся объектов, что может стать предметом дальнейших исследований.

Проведенные исследования показали эффективность использования данной технологии для топологии сети «точка-точка». Вместе с тем актуальными остаются вопросы, связанные с использованием технологии ZigBee при построении систем управления распределёнными объектами на основе сетей более сложных топологий, в частности «звезда» и mesh.

Список литературы: 1. *Дмитриев В. В.* Технологии беспроводной передачи данных / Компоненты и Технологии. 2005. №5. С. 22 – 35. 2. *Баскаков С. С.* Стандарт ZigBee и платформа MeshLogic: эффективность маршрутизации в режиме «многие к одному»/ Первая мила, 2008. № 2. С. 32-37.

Поступила в редколлегию 28.08.2010

Кукунин Сергей Валерьевич, соискатель, кафедра ПЭЭА, факультет ЭА ХНУРЭ. Научные интересы: беспроводные сенсорные сети, разработка и оптимизация микроконтроллерных систем. Адрес: Украина, 61103, Харьков, ул. Старицкого, 26, кв. 2, тел. 717-54-58.

Лысенков Николай Александрович, канд. тех. наук., профессор каф. ПЭЭА ХНУРЭ. Научные интересы: разработка и исследование распределённых систем управления на основе микроконтроллеров. Адрес: Украина, 61066, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-14-94.