

# ГИБКОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ТЕХНОЛОГИЯХ «УМНЫЙ ДОМ»

Ю.Т. Карманов, В.С. Спицын, М.М. Григорьев, В.В. Спицын

Рассмотрен беспроводный вариант реализации системы сбора информации о расходовании ресурсов потребителями жилых домов. Предложен эффективный способ организации радиосети высокой плотности, состоящей из автономных радиодатчиков расхода ресурсов на основе стандартной технологии беспроводных сенсорных сетей.

*Ключевые слова:* беспроводная передача данных, умный дом.

«Интеллектуальное здание»: комплекс систем, интегрированных в единое информационное пространство для максимальной эффективности функционирования служб здания при одновременном снижении эксплуатационных расходов. С технической стороны это: наличие механизма интеграции; гибкость и программируемость; адаптивность; эргономичность и дружелюбность интерфейсов.

В настоящее время, высокие энергозатраты в жилищно-коммунальном хозяйстве (ЖКХ) требуют огромных энергетических мощностей. Отрасль ЖКХ в России потребляет около 20 % всех энергоресурсов страны. При этом энергоэффективность услуг ЖКХ России на одного жителя в 4-5 раз ниже, чем в странах с похожим климатом.

Использование дешевых индивидуальных систем учета, а также регулирование энергоресурсов на основе теплоэнергетического мониторинга систем электро-теплого-водоснабжения каждого отдельного потребителя и всего здания, позволит значительно снизить требуемые энергетические мощности.

Поэтому, данное направление вошло в инновационную образовательную программу ЮУрГУ «Энерго- и ресурсосберегающие технологии», реализуемую в рамках приоритетного национального проекта «Образование».

В настоящее время очень важным является контроль над оплатой за услуги ЖКХ как квартиросъемщиками, так и работниками этих служб. Для этого необходима чтобы система сбора информации о расходовании ресурсов была удобна как для использования работниками ЖЭКа, так и для обычных жильцов.

Карманов Юрий Трофимович — д.т.н., профессор, заведующий кафедрой цифровых радиотехнических систем ЮУрГУ; [ea@drts.susu.as.ru](mailto:ea@drts.susu.as.ru).

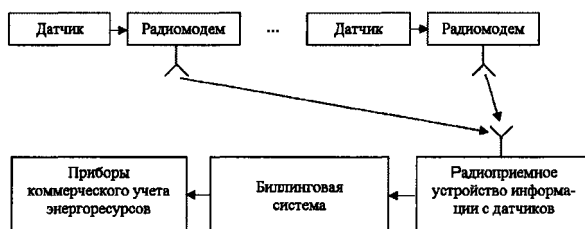
Спицын Владимир Семенович - доцент кафедры цифровых радиотехнических систем ЮУрГУ; [svd@drts.susu.ac.ru](mailto:svd@drts.susu.ac.ru).

Григорьев Максим Михайлович - ассистент кафедры цифровых радиотехнических систем ЮУрГУ.

Спицын Василий Владимирович - аспирант кафедры цифровых радиотехнических систем ЮУрГУ; [svd@drts.susu.ac.ru](mailto:svd@drts.susu.ac.ru).

Возможная структура такой системы может иметь вид, представленный на рис. 1.

Информация поступает с датчиков на радиомодем, кодируется и передается на радиоприемное устройство. Информация с радиоприемного устройства поступает в биллинговую систему, с неё на прибор коммерческого учета энергоресурсов. Таким образом, информация о потреблении энергоресурсов каждого квартиросъемщика становится доступной и наглядной.



**Рис. 1. Структурная схема передачи информации с датчика**

Сбор информации с датчиков может быть построен на различных принципах (передача через кабель, радиосигналом и др.)

Рассмотрим передачу информации с использованием технологии беспроводных сенсорных сетей (БСС).

Радиомодем в предлагаемой БСС используется для формирования и передачи в эфир радиочастотных посылок содержащих, пакеты данных от датчиков в различных системах управления и наблюдения, входящих в технологию «Умный дом».

Информационный обмен между модемом и датчиками, с точки зрения рационального подхода, должен осуществляться на основе одного из стандартных интерфейсов. Передаваемое информационное сообщение подвергается помехоустойчивому кодированию и на основе модуляции формируется радиочастотная посылка. Уровень выходного радиосигнала должен быть достаточным для уверенного приема на расстоянии не менее 50 м приемным устройством с чувствительностью 1 мкВ.

Первый вариант - построение системы на основе стандарта ZigBee [1]. Достоинства данного подхода - относительная простота и малые сроки получения работоспособного решения. Недостаток

- необходимость в затрате времени и ресурсов на реализацию этой технологии в выбранном решении для построения эффективных ZigBee-сетей в реальных условиях эксплуатации.

Другим вариантом является применение аппаратно-программной платформы MeshLogic [1], широко используемой для реализации беспроводных сенсорных сетей в различных областях применения. Платформа не является готовым продуктом (изделием), который предоставляется конечному потребителю, так как предполагается ее использование в качестве базы для создания различных беспроводных систем под конкретные требования заказчика и с учетом специфики прикладной задачи. Кроме того, платформа может использоваться как инструмент для проведения исследований по разработке новых алгоритмов и протоколов в области БСС.

Естественно, возникает резонный вопрос об отличиях платформы MeshLogic от других существующих решений, поэтому ниже приведен краткий сравнительный анализ платформы MeshLogic со стандартом ZigBee. ZigBee и MeshLogic функционируют в общедоступном нелицензируемом диапазоне частот 2,4-2,4835 ГГц, при этом в ZigBee скорость передачи данных выше, но физический уровень платформы MeshLogic обладает большей устойчивостью к помехам. Кроме того, для типовых приложений БСС скорость передачи данных не является критичным параметром, в то время как потери пакетов оказывают непосредственное влияние на качество обслуживания сети и энергопотребление узлов.

Краткий сравнительный анализ платформы MeshLogic с решениями на базе ZigBee показал, что MeshLogic имеет ряд преимуществ, что делает ее использование более целесообразным в приложениях, в которых:

- топология сети заранее неизвестна или может изменяться в процессе функционирования;
- направления потоков данных в сети произвольные, возможно изменение источников и потребителей информации;
- требования к аппаратным ресурсам всех узлов должны быть одинаковыми и ниже, чем для полнофункциональных ZigBee-устройств;
- все устройства сети должны работать на автономном источнике питания;
- в процессе работы возможно появление внутриполосных помех на различных участках сети.

Для предлагаемого решения выберем способ построения узлов (датчиков), только как передатчиков, это позволит снизить стоимость датчика и уменьшить его энергопотребление. Далее рассмотрим сигнал передаваемый датчиками. Выберем объем посылки информация с датчика 64 Б (см. таблицу).

Информационное слово с датчика

Заголовок	Адрес	Данные	КС	Конец
1 Б	3 Б	64 Б	1 Б	1 Б

Информационное слово занимает 70 байт, длина посылки 70 байт×8 бит×64 позиции Голда = 35840. Частоту передачи возьмем 1 МГц, тогда период передачи будет 10 мс. В итоге длина посылки будет 36 мс.

Для исследования помехоустойчивости выбранного подхода было проведено моделирование.

Модель передачи информации в системе БСС представлена на рис. 2. Информация поступает с датчика, кодируется, модулируется и передается на приемник.

Исследования на модели показали высокую степень помехоустойчивости системы. Относительное количество битовых ошибок (BER) не превышает  $10^{-4}$ , при соотношении сигнал-шум не более 3 дБ.

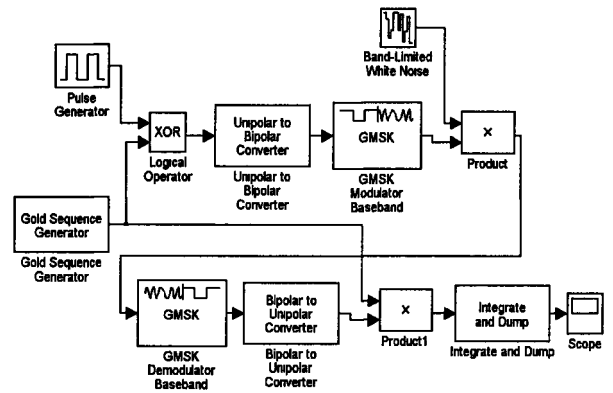


Рис. 2. Модель передатчика и приемника, разработанная в среде MATLAB

Информационный бит с датчика кодируется кодом Голда длиной 64. Псевдослучайные последовательности Голда обеспечивают малый уровень выбросов ВКФ. Коды Голда с периодом  $2n - 1$  формируются на основе двух  $m$ -последовательностей с отбором так называемых «предпочтительных пар» (preferred pairs), имеющих трехзначную функцию автокорреляции  $(-1, -\phi(t), \phi(t) - 2)$ . Коды Голда формируются путем посимвольного сложения по модулю 2 двух  $m$ -последовательностей. Далее биполярный сигнал модулируется гауссовской двухпозиционной частотной манипуляцией с минимальным сдвигом (GMSK).

GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) – это гауссовская двухпозиционная частотная манипуляция с минимальным сдвигом, обладающая двумя особенностями, одна из которых – «минимальный сдвиг», другая – гауссовская фильтрация. Обе особенности направлены на сужение полосы частот, занимаемой GMSK-сигналом.

Для построения системы необходим микроконтроллер небольшого размера и с маленьким потреблением энергии. Этим условиям удовлетворяет микроконтроллер MSP43015x/16x.

Такая частота этого микроконтроллера может быть установлена в широких пределах, что позволяет оптимизировать потребление устройства под целевую задачу. Микроконтроллер снабжен

подсистемой аналогового ввода/вывода. АЦП имеет устройство выборки – хранения, позволяющее считывать одновременно до 8 аналоговых сигналов. Период выборки 10 мкс позволяет использовать данный микроконтроллер со всеми основными типами промышленных датчиков: виброакустическими, тензо, термо, давления, положения, Холла и прочих.

Технические параметры:

- напряжение питания 1,8–3,6 В;
- потребляемый ток: активный режим (1 МГц, 2,2 В) 280 мкА; режим ожидания 1,6 мкА; только память – 0,1 мкА;
- архитектура 16-битная, RISC, 125 нс/операция. Тактовая частота 32 кГц... 8 МГц

В радиомодеме предлагаем использовать антенну Ф-типа, впаянную в поверхность платы. Антенна разработана Zhi Ning Chen (Сингапур) [2].

На рис. 3 показаны размеры антенны, толщина  $h = 1,66$  мм, длина  $L = 15$  мм, ширина  $W = 4,9$  мм, два идентичных рукава с размерами  $a = 9,6$  мм и  $b = 0,3$  м. Отступ от края прямоугольника составляет  $s = 0,3$  мм с каждой стороны, точка подключения питания находится на расстоянии  $d = 1,9$  мм от угла прямоугольника.

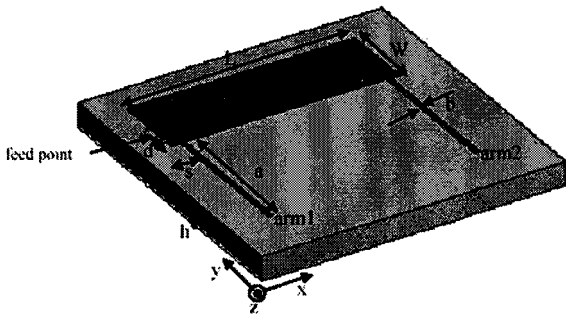


Рис. 3. Геометрия и размеры антенны

Как видно из рис. 4, резонанс антенны приходится на 2,47 ГГц, что удовлетворяет работе в заданном диапазоне частот.

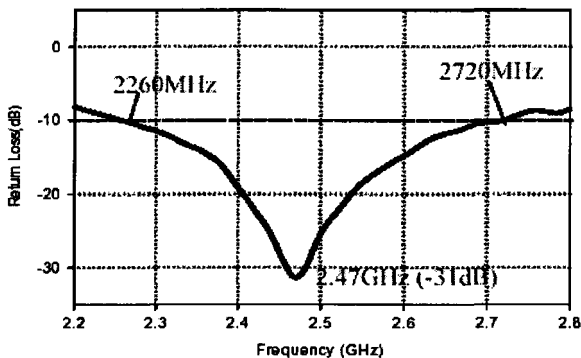


Рис. 4 Частотная характеристика антенны

Для оценки максимального радиуса зоны уверенного приема воспользуемся моделью распространения радиоволн в свободном пространстве с учетом дополнительных затуханий радиосигнала при распространении в зданиях и сооружениях.

Топология рассматриваемой радиосети представляет из себя равномерно распределенную конфигурацию источников радиосигналов - радиодатчиков, и фиксированную точку расположения приемной антенны. Точка расположения антенны может находиться внутри геометрической области расположения радиодатчиков либо быть вынесена за данную область. В первом случае антенна приемника будет ненаправленной, во втором случае может быть направленной. Применение направленных антенн может быть оправдано соображением пространственной селекции необходимых обслуживаемых зон радиодатчиков. Поэтому в качестве рабочей модели выберем случай, когда приемная антенна находится вне зоны обслуживаемых датчиков. Для покрытия нескольких соприкасающихся зон применяются несколько приемных антенн и приемных устройств.

Значение излучаемой мощности телеметрического датчика должно удовлетворять двум противоречащим требованиям: обеспечить минимальное энергопотребление и обеспечение максимальной дальности связи. Поэтому значение выходной мощности необходимо выбирать из критерия наибольшей эффективности использования энергии источника питания, т.е. при наибольшем КПД. Поскольку передатчик выполнен по принципу нелинейного резонансного усиления, то КПД такого звена достигает 70 % при значении уровня выходной мощности 1-5 мВт.

Для расчетов дальности применим среднее из диапазон значение выходной мощности передатчика –  $P_{\text{вых}} = 2,5$  мВт.

В диапазоне рабочих сигналов 2,4 ГГц, при ширине полосы сигнала до 1 МГц, типовая чувствительность приемных устройств составляет  $10^{-9}$  Вт.

Значение максимального радиуса уверенного приема сигнала рассчитаем по формуле [3, 4]:

$$R_{\text{max}} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{L \frac{P_{\text{вых}} D_{\text{прм}}}{P_{\text{мин}}}}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – длина волны,  $L$  – поправочный коэффициент,  $D_{\text{прм}}$  – коэффициент направленного действия приемной антенны,  $P_{\text{мин}}$  – чувствительность приемного устройства.

Поправочный коэффициент учитывает значение затухания радиосигналов при распространении в условиях здания, а также эффект усиления сигнала на выходе звена корреляционной обработки приемного устройства.

$$L = L_{\text{пот}} + L_{\text{КФ}}, \quad \text{дБ}, \quad (2)$$

где  $L_{\text{пот}}$  – величина затухания при распространении внутри здания,  $L_{\text{КФ}}$  – усиление сигнала на выходе фильтра-коррелятора на выходе приемного устройства.

Значение затухания радиосигнала при распространении в здании, при преодолении от 2 до 4 глухих стен или препятствий составляет величину от 15–25 дБ, т.е. выберем  $L_{\text{КФ}} = -25$  дБ.

Увеличение радиосигнала на выходе сжимающего фильтра для псевдослучайных последовательностей составляет  $L_{\text{КФ}} = \sqrt{N}$ , где  $N$  – длина кодовой последовательности. Согласно примененному принципу формирования и обработки сигнала на основе кодов Голда с длительностью 64,  $L_{\text{КФ}} = 8$  дБ или  $L_{\text{КФ}} = 9$  дБ.

С учетом данных значений, поправочный коэффициент, для наиболее удаленного от приемной антенны датчика, составит  $L = -14$  дБ.

В качестве приемной антенны применим типовую антенну диапазона 2,4 ГГц, обладающую коэффициентом направленного действия 13–15 дБ. Выберем  $D_{\text{прм}} = 13$  дБ.

С учетом полученных значений и формулы (1), рассчитаем максимальный радиус зоны уверенного приема  $R_{\text{max}} = 59$  м.

При заданных параметрах, уверенный прием сигналов радиодатчиков будет наблюдаться на расстоянии не более 59 м от точки расположения антенны.

В качестве элемента питания выберем гальванический элемент типа АА в количестве две штуки. Типовое значение напряжение на выходе одного гальванического элемента составляет 1,5 В, импульсный ток разряда до 70 мА, электрическая емкость одного элемента 1200 мАч.

Питание электрических цепей осуществляется от вторичного импульсного источника напряжения, с коэффициентом полезного действия не менее 87 %.

Согласно определению, напряжению на выходе гальванического элемента нагруженный 10 % значением тока от номинальной емкости, в течение 10 ч не выйдет за пределы номинальных значений. Согласно данному определению и закону Джоуля–Ленца, электрическая энергия запасенная в элементе будет составлять не менее 18 Дж.

Рассчитаем энергию электрического потребления электронной схемы телеметрического радиодатчика в режиме передачи данных [5]. Основная мощность потребления в данном режиме будет отбираться выходным передающим усилительным каскадом. Согласно введенным значениям и коэффициенту полезного действия выходного каскада и вторичного источника питания, мощность потребления в данном режиме составит 4,1 мВт. Длительность цикла работы в данном режиме, соглас-

но описанию, не превышает 36 мс. Энергия отбираемая от гальванического элемента, за один цикл передачи информации составит 147,6 мкДж.

Соответственно от двух гальванических элементов, в рабочем диапазоне напряжений, до полного разряда возможно осуществить до 240 тыс. циклов передачи данных. С учетом того, что средний расход энергии гальванического элемента образован преимущественно расходом энергии за счет работы передатчика, расход энергии в режиме ожидания будет несущественным.

При интенсивности 35 тыс. циклов передачи в год (1 раз в 15 мин), с учетом необходимой избыточности, длительность использования одного комплекта гальванических элементов будет не менее 1-2 лет.

### Заключение

Для решения задачи индивидуального учета расходуемых энергетических ресурсов в системах ЖКХ, описан беспроводный вариант реализации системы сбора телеметрической информации, основанный на использовании стандартных подходов, характерных для БСС. В качестве достоинств, предлагаемой системы можно указать:

- автоматизированный учет используемых ресурсов;
- низкая закупочная стоимость отдельного телеметрического датчика и низкие эксплуатационные расходы потребителя;
- размер одной зоны обслуживания радиосети соизмерим с размерами типовых жилых зданий;
- высокий потенциальный предел плотности радиосети датчиков;
- автоматизированная система контроля целостности сети.

### Литература

1. *Электроника: НТВ*. - 2007. - 128 с.
2. *Chen, Z. N. Broadband Planar Antennas: Design and Applications / Z. N. Chen*. -ABI, 2005.
3. *Радиопередающие устройства / В. В. Шахгильдян и др.* -М.: Радио и связь, 1990. - 432 с.
4. *Никольский, В. В. Электродинамика и распространение радиоволн / В. В. Никольский, Т. И. Никольская*. -М.: Наука, 1989. - 544 с.
5. *Найвельта, Г. С. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры / Г. С. Найвельта*. —М.: Радио и связь, 1985.

Поступила в редакцию 19 мая 2008 г.