

УДК 621.391

МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ АВТОНОМНОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПЕРЕДАТЧИКА



[И.С. Шостко](#), [Ю.Э. Куля](#)

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Abstract – At the initial stage of designing a wireless sensor network with autonomous nodes, there is a problem, maximum duration of her life. We solve the problem of increasing the lifetime of the battery life of the wireless sensor network (WSN), through the use of energy-efficient operating modes of transmitter units to allow correction of signal strength based on the communication range of the measurement results, taking into account the characteristics of the signal in the radio channel and reception. The work shows that the method of determining the distance between the nodes based on Received Strength Signal Indication (RSSI) is suitable for measurements on short distances (up to 10 m). Time of Flight (ToF) method has several advantages over RSSI, especially when measuring over long distances (of the order of hundreds of meters). To improve the accuracy using multiple repetition measurement procedure. Also, when using the ToF is possible to determine the coordinates and speed vector nodes ZigBee. After you have measured the distance between nodes WSN, an automatic adjustment of transmitter power so that it would be sufficient for data transmission with a given quality, hence energy consumption of nodes reduced and thus the life expectancy increases network.

Анотація – При проектуванні безпроводової сенсорної мережі (БСМ) з автономними вузлами виникає питання, як забезпечити максимальну тривалість її життя. У статті вирішується завдання збільшення часу життя автономної БСМ за рахунок застосування енергоефективних режимів роботи передавачів вузлів, що забезпечують корекцію потужності сигналів на підставі результатів вимірювань дальності зв'язку, з урахуванням особливостей проходження сигналу в радіоканалі і прийому.

Аннотация – При проектировании беспроводной сенсорной сети (БСС) с автономными узлами возникает вопрос, как обеспечить максимальную продолжительность её жизни. В статье решается задача увеличения времени жизни автономной БСС за счёт применения энергоэффективных режимов работы передатчиков узлов, обеспечивающих коррекцию мощности сигналов на основании результатов измерений дальности связи, с учётом особенностей прохождения сигнала в радиоканале и приёма.

Введение

Беспроводная сенсорная сеть (БСС) – это распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, объединённых между собой посредством радиоканала. Область покрытия подобной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счёт способности ретрансляции сообщений от одного элемента к другому. Типичная сенсорная сеть состоит из множества дешёвых, автономных, многофункциональных узлов (мотов), которые распределены в зоне мониторинга. Каждый узел состоит из набора блоков,

таких как: сенсор, используемый для получения данных от окружающей среды, блок приема-передачи данных, микроконтроллер для обработки и управления сигналами и источник энергии. Узел обычно питается от автономной батареи с ограниченным энергоресурсом. Поэтому время жизни узла автономной БСС ограничено временем жизни батареи, и задача снижения потребления энергии как никогда становится важной, а эффективность ее решения напрямую влияет на дальнейшее развитие БСС.

I. Постановка задачи

В данной работе решается задача увеличения времени жизни БСС за счёт управления энергетическим балансом её приёмопередающих узлов, обеспечивающих коррекцию мощности сигналов на основании результатов измерений дальности связи, с учётом особенностей прохождения сигнала в радиоканале и приёма.

II. Анализ результатов исследований по снижению энергопотребления автономных узлов беспроводной сенсорной сети

Результаты экспериментальных исследований [1] причин потребления энергии батареи в различных режимах работы узла беспроводной сети представлены на рис. 1.

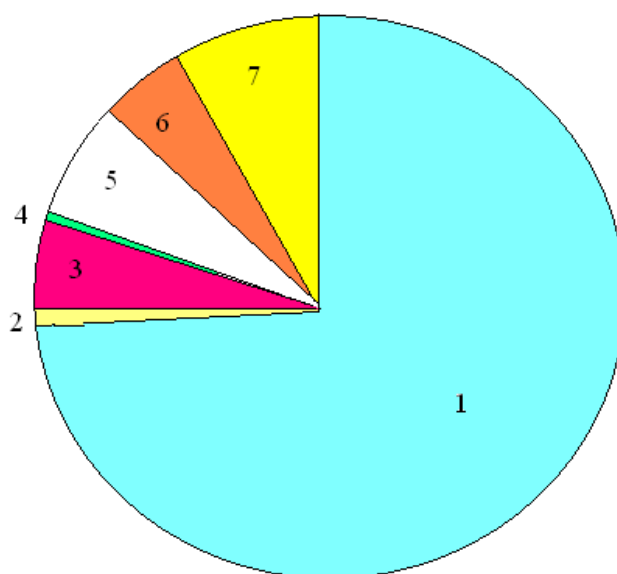


Рис. 1. Время работы узла БСС,

- где 1 – Сетевой интерфейс выкл. (350 ч); 2 – Режим AP, aggressive traffic (1,5 ч);
3 – Режим mesh, no traffic (38 ч); 4 – Режим mesh, aggressive traffic (1,5 ч);
5 – Режим mesh, small (TBD) ping traffic (21 ч); 6 – Режим AP, small (TBD) ping traffic (18 ч);
7 – Сетевой интерфейс вкл., соед. с точкой доступа (40 ч)

Как видно из приведенного графика, самое большое значение времени жизни устройства имеется режим под номером 1, когда устройство потребляет минималь-

ное количество энергии батареи. Самыми энергозависимыми режимами являются режимы активной передачи трафика под номерами 2 и 4, при которых время жизни устройства минимально. В этих режимах устройство потребляет больше всего энергии за счет работы сетевого интерфейса при приеме, передаче и ожидании данных.

Потребление энергии элементами БСС увеличивается, в то время как батареи не могут обеспечить ее объем в требуемом количестве. Данная проблема связана с ограниченной емкостью применяемых батарей и неразумными тратами доступной энергии. Решением может быть два пути: экстенсивный путь – наращивание мощности батареи и интенсивный путь – оптимизация потребления имеющейся энергии батарей.

Первый путь ограничен техническими аспектами изготовления элементов питания и требованием к снижению их массогабаритных размеров. В работе [2] отмечено, что удельная энергетическая плотность современных химических источников тока растет весьма медленно, и дополнительным сдерживающим условием становится вопрос безопасной эксплуатации батарей высокой энергоемкости.

Второй путь не требует модернизации аккумуляторных элементов, однако требует глубокого анализа проблемы, в особенности причины и количества затрат энергии узлами сети. Существует множество способов экономии электроэнергии узлов. Далее приведена их классификация [3], представленная на рис. 2.

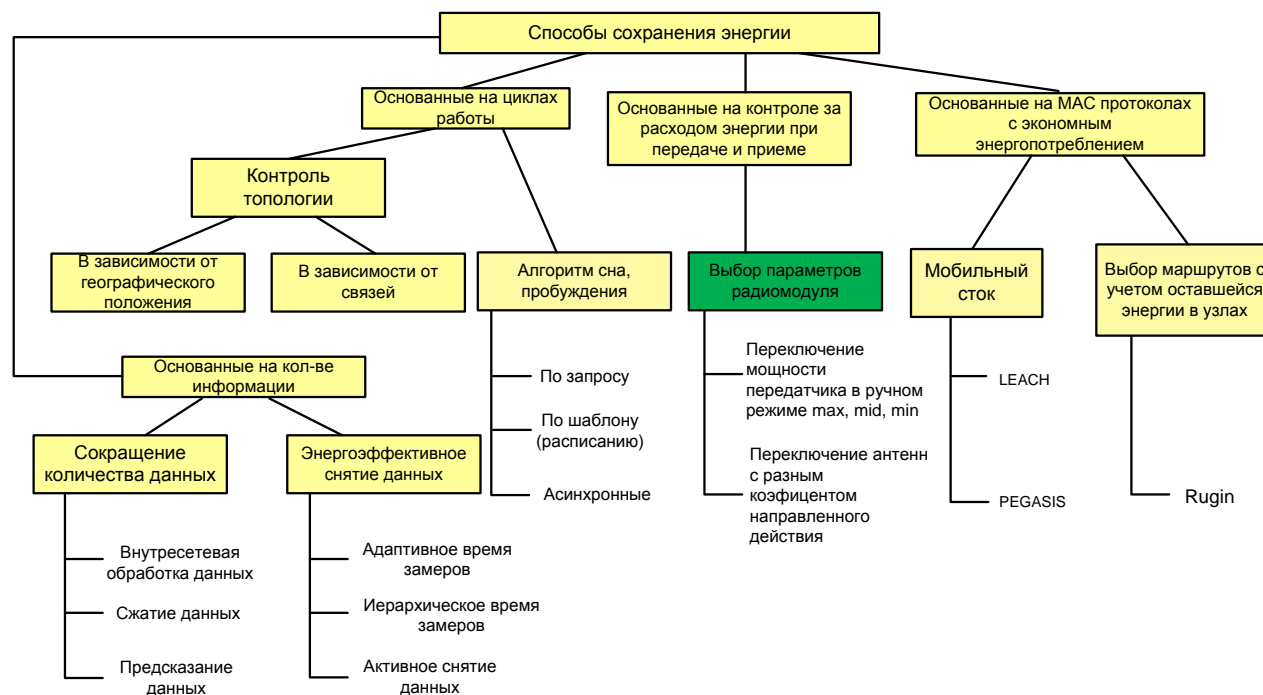


Рис. 2. Классификация способов экономии энергии

Все перечисленные способы можно разделить на три большие группы – сохранение энергии при помощи оптимизации циклов работы; способы, основанные на адаптации передатчика и приёмника к изменяющимся внешним условиям и способы, основанные на оптимальном выборе маршрутизации и коррекции тополо-

гии сети с учётом энергозатрат каждого узла. К первой группе относят контроль топологии и управление режимом активности узлов. Контроль топологии направлен на использование или уменьшение избыточных связей в сети в целях экономии ресурса. Управлять потреблением можно также путем оптимизации режимов работы и сна для каждого узла. Второй класс способов сохранения энергоресурса основан на управлении мощностью передатчика, выборе параметров антенн и коэффициента усиления сигнала в приёмнике таким образом, чтобы энергия, потраченная на передачу информации, была минимальной. Третий способ предполагает использование мобильных стоков или мобильных ретрансляторов в процессе эксплуатации сети.

Наличие большого числа научных работ, посвященных разработке перечисленных выше методов снижения энергопотребления БСС, позволяет говорить о том, что исследуемые вопросы являются актуальными. Каждый из рассмотренных методов имеет свои преимущества и недостатки и хорошо подходит для определенной ситуации. В данной статье задача увеличения времени жизни автономной БСС, построенной по технологии ZigBee, решается за счёт оптимального выбора мощности сигнала для каждого узла с учётом дальности связи.

III. Методы измерения дальности между узлами беспроводной сенсорной сети

Для сетей ZigBee были разработаны два метода измерения дальности связи — RSSI, основанный на определении мощности принятого сигнала, и ToF, базирующийся на измерении времени прохождения сигнала между узлами. Рассмотрим эти подходы подробнее.

Метод RSSI

Наиболее простым методом определения дальности до узла является индикация уровня принятого сигнала (Received Strength Signal Indication). Любой беспроводной канал по стандарту IEEE 802.15.4 имеет протокольную функцию оценки качества связи (Link Quality Indicator), действие которой сводится к определению мощности принятого сигнала P (дБм) [4]. Поскольку в идеальных условиях мощность обратно пропорциональна квадрату расстояния, то логарифм мощности пропорционален расстоянию с некоторым коэффициентом, который устанавливается эмпирически.

Однако этому методу присущ ряд существенных ограничений, поскольку уровень сигнала является весьма изменчивым параметром из-за влияния следующих факторов:

- быстрые и медленные замирания сигналов на трассе из-за изменения условий распространения радиоволн;
- многолучевое распространение вследствие отражений от различных металлических предметов;
- разброс выходной мощности передатчиков и чувствительности приемников;

– влияние ориентации антенн из-за неравномерности диаграммы направленности.

Из-за воздействия указанных факторов реальная зависимость мощности от расстояния оказывается нелинейной и непостоянной во времени, вследствие чего точность измерений быстро падает с ростом расстояния. Практическое применение этого метода в сетях ZigBee ограничено дистанциями примерно до 10 м, при этом расстояние измеряется с точностью около 3 м.

Метод ToF

Другой подход основан на измерении времени прохождения (пролета) сигнала (Time of Flight). Узел посылает запрос на другой узел, получает ответный сигнал и определяет время его задержки. Полная задержка складывается из аппаратных задержек при обработке принятого и формировании ответного сигналов и времени распространения между узлами. Поскольку технические задержки известны с хорошей точностью, то их можно вычесть из полного значения, и оставшаяся величина будет характеризовать время пролета сигнала туда и обратно. Умножив половину времени задержки на скорость света, получим расстояние между узлами сети. В этом методе обеспечивается линейная связь между расстоянием и измеряемой величиной. Точность измерений определяется рядом факторов:

- стабильностью частоты задающих генераторов;
- задержками фронтов импульсов при приеме и излучении;
- отношением сигнал/шум;
- ошибками из-за многолучевого распространения.

Для повышения точности используют многократные повторения процедуры измерения. Применяется фильтрация аномально больших отклонений, вызываемых многолучевым распространением, что позволяет в несколько раз повысить точность измерений. На рис. 3 приведены экспериментальные результаты измерений расстояния методами RSSI и ToF [5].

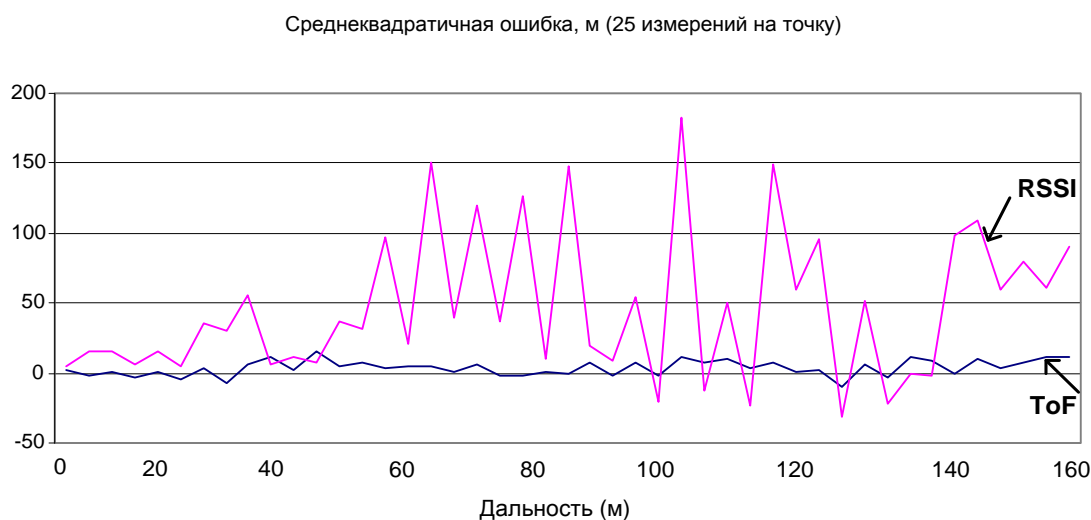


Рис. 3. Зависимости ошибок измерения расстояний методами RSSI и ToF от расстояния

Из графиков видно, что погрешности при использовании метода ToF существенно меньше, чем при RSSI, в котором уже на дальностях более 20 м ошибки измерений превышают само значение дальности. Метод ToF эффективен во всём диапазоне дальности работы сети.

Измерение расстояний — не единственная возможность сетей ZigBee. При использовании высокоточных алгоритмов измерения можно также определять координаты и скорость перемещения узла. Оценку скорости можно делать по изменению расстояния при нескольких последовательных измерениях. По измерениям из двух точек можно найти только проекцию скорости на направление на известный узел. Если же измерять дальность из трех или более точек, то можно определить проекции скорости на направление на эти узлы и по ним уже найти полный вектор (величину и направление) скорости.

IV. Метод управления энергетическим балансом приёмопередающих узлов беспроводной сенсорной сети

Дальность беспроводной связи можно оценить по известному соотношению [6]:

$$R_c \leq \sqrt{\frac{P_t \cdot G_t \cdot A_r \cdot K_{осл}}{4 \cdot \pi \cdot P_{por}}}, \quad (1)$$

где R_c – дальность связи;

P_t – импульсная мощность передатчика, Вт;

G_t – коэффициент усиления антенны передатчика;

A_r – эффективная площадь антенны приёмника, м²;

$K_{осл} = q_t \cdot q_r \cdot K_p$ – коэффициент ослабления мощности сигнала, $0 \leq K_{осл} \leq 1$;

q_t (q_r) – относительные коэффициенты усиления антенн передатчика (приёмника) в направлении друг друга $0 \leq q_t \leq 1$, $0 \leq q_r \leq 1$;

$K_p = \prod_{i=0}^k K_{pi}$ – коэффициент потерь, характеризующий активные потери энергии, связанные с поглощением в среде распространения и т.п., $0 \leq K_p \leq 1$;

P_{por} – пороговая чувствительность приёмника, Вт.

Анализ технических характеристик радиомодулей узлов БСС [6-10] показал, что для разных вариантов построения и применения БСС потери в радиоканале за счёт несовпадения максимумов ДН антенны передатчика и приёмника, потерь из-за поглощения в среде распространения могут изменяться от 0 до 20 дБ

$$K_{осл} = -(0...20) \text{дБ}.$$

На рис. 4. приведена зависимость средней мощности принятого сигнала $P_r(R_c)$ от дальности связи без учёта ослабления и при ослаблении принимаемого сигнала в радиоканале на 10 и 20 дБ.

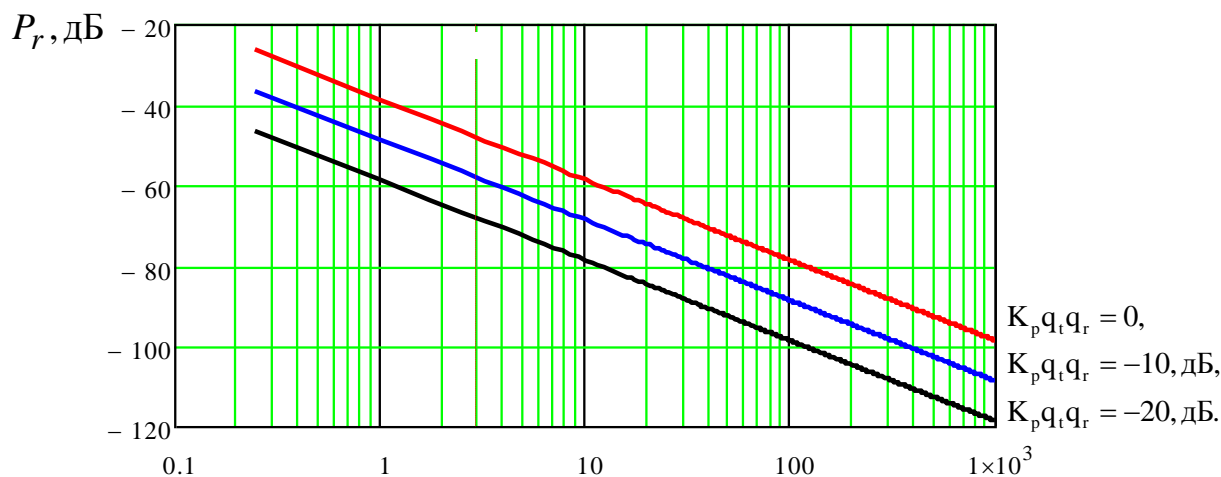


Рис. 4. Средняя мощность принятого сигнала в зависимости от дальности связи

Потери можно компенсировать [11, 12], если корректировать коэффициент усиления мощности передатчика и пороговую чувствительность приёмника в зависимости от условий прохождения сигнала в радиоканале, уровня шумов, дальности и взаимного расположения узлов [13, 14]. С другой стороны, для экономии энергозатрат целесообразно ограничивать мощность сигнала на уровне, достаточном для передачи данных с заданным качеством. Таким образом, существует задача оптимального выбора энергетических характеристик приёмопередатчика в зависимости от условий радиосвязи. В качестве исходных данных можно использовать результаты оценки качества связи LQI и измерения дальности связи с помощью методов RSSI или ToF. В результате обработки этих данных в микроконтроллере должна быть выработана команда для управления автоматической регулировкой усиления (APУ) в радиоприёмнике и автоматической регулировки мощности (АРМ) в радиопередатчике (рис. 5).

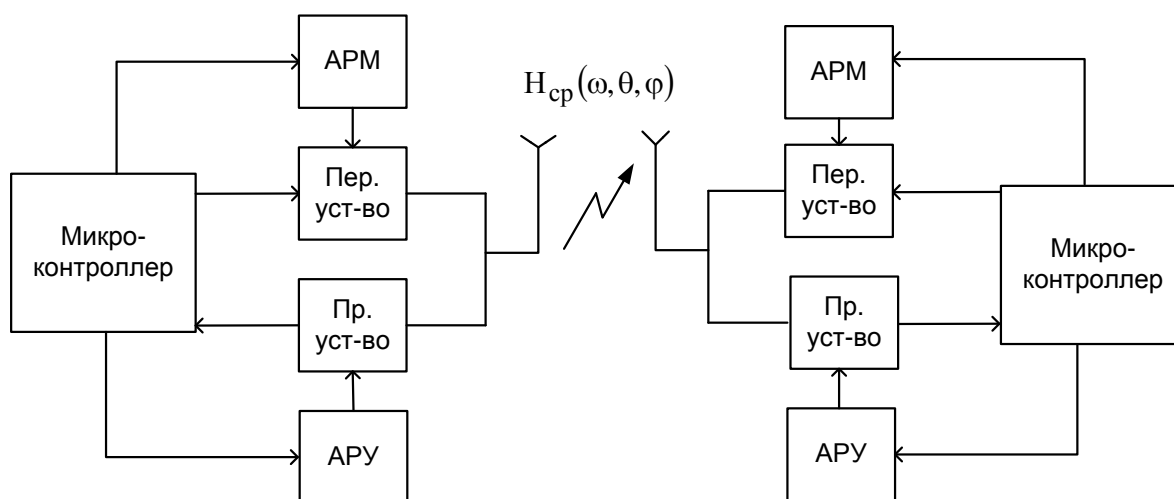


Рис. 5. Структурная схема управления энергетическими характеристиками приёмопередатчика в зависимости от условий радиосвязи

Мощность на выходе передатчика определяется в соответствии с условием: энергия принятого сигнала должна превышать пороговый уровень энергии

$$\frac{E_b(\theta, \varphi, R_c)}{E_{kr}} \geq 1,$$

где $E_b(\theta, \varphi, R_c)$ - зависимость энергии одного бита информации на выходе приёмника от дальности и направления приёма сигнала.

Величину E_{kr} приравняем к энергии одного бита информации на выходе приёмника, при которой обеспечивается заданная достоверность передачи сообщений.

Достоверность передачи сообщений – степень соответствия между принятым и переданным сообщением. При передаче дискретных сообщений достоверность определяется коэффициентом ошибок

$$K_{er} = n_{er} / n_b \approx \Psi_b,$$

где n_{er} – это число ошибочно принятых элементов сообщения;

n_b – общее число элементов сообщения;

$\Psi_b = F(\sqrt{2E_b/N_0})$ – зависимость вероятности битовой ошибки от отношения сигнал/шум - энергии бита E_b к спектральной плотности шума N_0 ;

$F(x) = \frac{1}{2\pi} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ – гауссов интеграл ошибок, который используется при описании вероятности с гауссовой плотностью распределения.

Отношение сигнал/шум можно представить в виде:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S_b T_b}{N/\Delta\omega_c} = \frac{S_b/R_b}{N/\Delta\omega_c} = \frac{S_b}{N} \frac{\Delta\omega_c}{R_b},$$

где $E_b = S_b T_b$ – энергия одного бита информации;

N_0 – спектральная плотность мощности белого шума в канале;

S_b – средняя мощность принятых битов;

N – средняя мощность шума;

T_b – длительность бита;

R_b – скорость передачи битов.

Поскольку время передачи бита и скорость передачи битов взаимно обратны, то T_b можно заменить на $1/R_b$.

Безразмерное отношение E_b/N_0 – это стандартная качественная мера производительности систем цифровой связи [15]. Следовательно, необходимое отношение E_b/N_0 можно рассматривать как метрику, позволяющую сравнивать качество различных систем: чем меньше требуемое отношение E_b/N_0 , тем эффективнее процесс детектирования при заданной вероятности ошибки.

При передаче цифрового сигнала с форматом модуляции QPSK число уровней

определяется как

$$L = \sqrt{M},$$

а энергия символа сигнала определится по формуле:

$$E_s = E_b \cdot \log_2 L.$$

При передаче двоичных импульсов $E_s = E_b$, а при передаче импульсов с модуляцией QPSK в основной полосе, совпадающей с полосой Найквиста $\Delta\omega_N = \frac{1}{2T_b}$ [16],

мощность символа $S_s = \frac{E_b}{T_b} \cdot \log_2 L$ и мощность шума $N = N_0 \left(\frac{1}{2T_b} \right)$.

Следовательно:

$$\frac{S_s}{N} = 2(\log_2 L) \frac{E_b}{N_0} = m \frac{E_b}{N_0},$$

где m – коэффициент мапинга (число бит на символ информации).

Для QPSK разница между S_s/N и E_b/N_0 составит 3 дБ.

В БСС на основе стандарта IEEE 802.15.4 для увеличения базы сигнала используют кодовую последовательность импульсов [17], следовательно, отношение сигнал/шум увеличивается в B_p раз ($B_p = T_s \Delta\omega$), где $\Delta\omega$ ширина спектра расширяющей последовательности

$$\frac{S_s}{N} = m B_p \frac{S T_b \Delta\omega_N}{N}. \quad (2)$$

В качестве примера на рис. 6. приведены результаты расчёта дальности достоверной передачи сообщений для узлов БСС на основе технологии ZigBee. Рабочие частоты ZigBee от 2,405 ГГц до 2,485 ГГц, поддерживаемая скорость передачи данных 250 кбит в секунду [18].

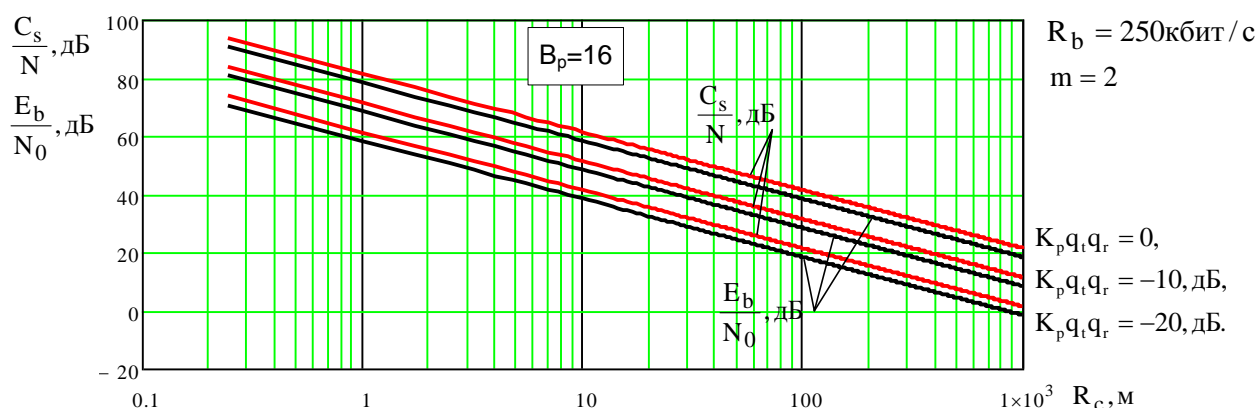


Рис. 6. Зависимость отношения сигнал/шум от дальности связи (мощность передатчика 0 дБм; пороговая чувствительность приёмника -96 дБм;)

На основании проведенных теоретических исследований предлагается алгоритм управления энергетическим балансом приёмопередающих узлов БСС (рис. 7):

1. С учётом технических характеристик приёмопередающих узлов БСС рассчитывается зависимость вероятности битовой ошибки от отношения сигнал-шум $\gamma = S_s/N$. Для заданного допустимого значения вероятности ошибки определяется минимальное значение γ_{\min} . Для ограничения мощности сигнала с целью сокращения расхода электроэнергии определяется максимальное значение $\gamma_{\max} = 2\gamma_{\min}$.

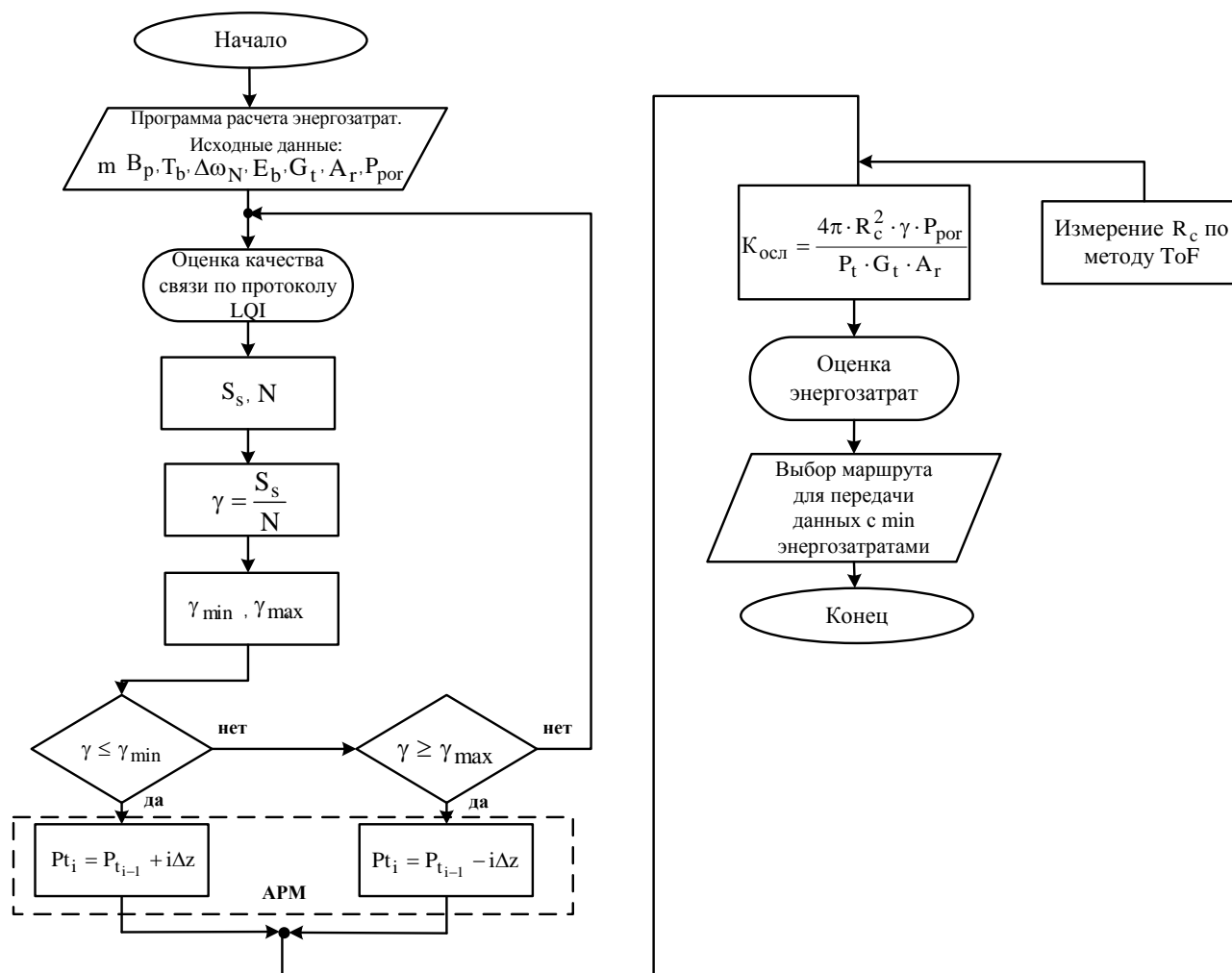


Рис. 7. Алгоритм управления энергетическим балансом приёмопередающих узлов БСС

2. С помощью протокольной функции оценки качества связи LQI, измеряется мощность принятого сигнала S_s и мощность шума N для каждого узла БСС. На основании результатов измерения выбираем оптимальное значение коэффициента усиления АРУ в радиоприемнике.

3. Проводится расчёт фактического отношения сигнал/шум γ для каждого узла. Если $\gamma \geq \gamma_{\min}$, передаётся команда на увеличение коэффициента АРМ в радиопе-

редатчике для данного канала, если $\gamma \geq \gamma_{\max}$, то коэффициент АРМ уменьшается.

4. С помощью метода ToF измеряется дальность R_c между узлами БСС. Рассчитывается $K_{\text{осл}}$ сигнала в радиоканале между узлами БСС:

$$K_{\text{осл}} = \frac{4\pi \cdot R_c^2 \cdot \gamma \cdot P_{\text{por}}}{P_t \cdot G_t \cdot A_r}$$

5. С учётом длины радиоканала и ослаблением сигнала в нём выбирается маршрут для передачи данных с минимальными энергозатратами.

Таким образом, получил дальнейшее развитие метод управления энергетическим балансом узлов БСС на основе технологии ZigBee, особенностью которого является учёт зависимости коэффициента усиления АРУ в радиоприемнике и АРМ в радиопередатчике от заданной достоверности передачи сообщений и характеристик радиоканала. Это позволило повысить продолжительность жизни автономных узлов БСС по сравнению с ранее известными методами.

Выводы

1. Метод определения расстояния между узлами на основе RSSI пригоден для измерений на небольших расстояниях (до 10 м). Метод ToF обладает рядом преимуществ перед RSSI, особенно при измерениях на больших расстояниях (порядка сотен метров). При использовании метода ToF возможно определение координат и вектора скорости движения узлов сети ZigBee.

2. Получил дальнейшее развитие метод управления энергетическим балансом узлов БСС на основе технологии ZigBee, особенностью которого является учёт зависимости коэффициента усиления АРУ в радиоприемнике и АРМ в радиопередатчике от заданной достоверности передачи сообщений и характеристик радиоканала. Это позволило повысить продолжительность жизни автономных узлов БСС по сравнению с ранее известными методами.

Список литературы:

1. Ravishankar R. Battery Modeling for Energy-Aware System Design / R. Ravishankar, S. Vrudhula, D. Rakhmatov // Computer. – 2003. – 36 (12). – P. 77-87.
2. Таганова А. А. Герметичные химические источники тока. Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации : справ. / А. А. Таганова, Ю. И. Бубнов, С. Б. Орлов. – Санкт-Петербург: Химиздат, 2005. – 264 с.
3. Energy conservation in wireless sensor networks: A survey / G. Anastasi, M. Conti, M. Di Francesco, A. Passarella // Ad Hoc Networks Journal. – 2009. – № 7. – P. 537–568.
4. Шостко И.С. Анализ моделей сверхширокополосных сигналов для инфокоммуникационных сетей [Электронный ресурс] / И.С. Шостко, А.А. Таха, Ю.Э. Соседка // Проблемы телекоммуникаций. – 2012. – № 4 (9). – С. 45-62. – Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2012/4/1/124_shostko_uwb.pdf.

5. *Еркин А. Н.* Расширение возможностей беспроводных сетей ZigBee: измерение координат узлов // Беспроводные технологии. – 2011. – № 1. – С. 12–14.
6. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: справ. / под. ред. Я. Д. Ширмана. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
7. *Иммореев И. Я.* Излучение сверхширокополосных сигналов / И. Я. Иммореев, А. Н. Синявин // Антенны. – 2001. – № 1 (47). – С. 8–16.
8. *Радзиевский В. Г.* Обработка сверхширокополосных сигналов и помех / В. Г. Радзиевский, П. А. Трифионов. – М.: Радиотехника, 2009. – 288 с.
9. *Диксон Р. К.* Широкополосные системы : пер. с англ. под ред. В. И. Журавлёва. – М.: Связь, 1979. – 304 с.
10. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишне-вский, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
11. *Шостко И. С.* Метод оценки дальности достоверной передачи сообщений в телекоммуникационных системах сверхширокополосного радиодоступа / И. С. Шостко, Алмакадма Таха, Ю. Э. Соседка // Системи озброєння і військова техніка : наук. журн. Харк. ун-т Повітряних Сил. ім. І. Кожедуба. – Х.: ХУПС, 2012. – № 4 (32). – С. 190–194.
12. *Шостко И. С.* Разработка рекомендаций по регулированию пропускной способности в WPAN / И. С. Шостко, Алмакадма Таха, Ю. Э. Соседка // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2012. – Вып. 171. – С. 262–269.
13. *Хармут Х. Ф.* Несинусоидальные волны в радиолокации и радиосвязи. – М.: Радио и связь, 1985. – 376 с.
14. *Алмакадма Т.* Методы коррекции формы сверхширокополосных сигналов в передатчике // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке : материалы 14-го между-нар. молодеж. форума, 18–20 марта 2010 г. – Х.: ХНУРЭ, 2010. – Т. 4 : Междунар. конф. "Перспективы развития телекоммуникационных и информационно-измерительных технологий". – С. 132.
15. *Shostko I.* Development Prospects for Wireless Personal Wideband Systems of Data Transmission / I. Shostko, J. Sosedka, V. Lyshenko // The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM 2013) : proceedings of the 12th International Conference, February 19–23, 2013, Polyana – Svalyava, Zakarpattia, Ukraine. – Lviv, 2013. – P. 327–328.
16. *Шостко И. С.* Оптимизация параметров сверточного кодирования и скорости передачи данных в беспроводных сетях с использованием технологии ultra-wideband / И. С. Шостко, Алмакадма Таха, Ю. Э. Соседка // Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій (РТ–2012) : матеріали 8-ї Міжнар. молодіжної наук.-техн. конф., 23–27 квіт. 2012 р. – Севастополь: Вид-во Севастоп. нац. техн. ун-ту, 2012. – С. 137.
17. *Шостко И. С.* Метод управления энергетическим балансом приемопередающих устройств беспроводной сенсорной сети / И. С. Шостко, Ю. Э. Куля // Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи ЭМС–2015 : материалы 1-й Междунар. науч.-техн. конф., 27 мая 2015 г. – Харьков, 2015. – С. 166–169.

18. *Соседка Ю. Э.* Анализ метод увеличения скорости передачи данных в WРAN-сетях с использованием СШПС / *Ю. Э. Соседка, Алмакалма Таха* // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке : материалы 16-го Международ. молодежного форума, 17–19 апр. 2012 г. – Харьков: ХНУРЭ, 2012. – Т. 4 : Международ. конф. «Перспективы развития телекоммуникационных и информационно-измерительных технологий. – С. 164–165.