

Шостко И. С.,
Куля Ю. Э.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МАРШРУТИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ УСТРАНЕНИЯ ДИСБАЛАНСА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

При проектировании беспроводной сенсорной сети (БСС) с автономными узлами, возникает вопрос, как обеспечить максимальную продолжительность ее жизни. В статье с этой целью предлагается использовать многопутевую маршрутизацию с поддержкой режима энергетической балансировки узлов сети. Разработана модель для исследования алгоритмов многопутевой маршрутизации с учетом устранения дисбаланса энергопотребления в транзитных узлах БСС.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, многопутевая маршрутизация, энергозатраты.

1. Введение

Автономные беспроводные сенсорные сети (БСС) являются особым направлением развития телекоммуникационных сетей (ТКС). Нагрузка на линиях связи БСС может существенно изменяться с течением времени: от формирования постоянного информационного потока до редких, коротких сигналов или пакетов. В ряде случаев передача информации от сенсора происходит только в результате наступления определенного события. Сами информационные сигналы могут быть аналоговыми или цифровыми и переносить данные, изображение, речь и др. В отличие от традиционных ТКС, где за счет методов маршрутизации добиваются максимального объема трафика, в БСС эта задача обычно не стоит. Не является важным и порядок узлов, участвующих в процессе маршрутизации. Важным является достоверность переданных команд или сообщений при максимальной продолжительности времени жизни БСС. Для увеличения продолжительности времени эксплуатации сети особое значение играет экономия электропитания, как самих датчиков, так и других узлов сети, работающих автономно. Это накладывает ограничение на выбор протоколов маршрутизации БСС, на топологию сети и на стратегию взаимосвязи узлов.

Для анализа эффективности разных протоколов маршрутизации и выбора оптимального по критерию минимального энергопотребления режима работы узлов БСС возникает необходимость в моделировании всех возможных вариантов работы сети. Таким образом, разработка модели БСС для выявления причин дисбаланса энергопотребления в процессе маршрутизации является актуальной научной задачей.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Повышение энергоэффективности узлов БСС является актуальной темой для многих исследователей [1–11]. Ниже приведен анализ ряда публикаций посвященных снижению энергопотребления и оптимизации режимов работы БСС.

Энергетическая балансировка маршрута передачи данных рассмотрена в работе Y. Chen [4]. Предложенный новый подход к маршрутизации EBMR (Energy-Balancing Multipath Routing), основан на учете энергетического ограничения источников питания для узлов БСС с энергетической балансировкой маршрута.

Метод динамической реконфигурации БСС, описанный в работе [5], позволяет оптимизировать движение стока по критерию максимизации времени ее жизни. С помощью разработанного автором комплекса программ производится сравнение предлагаемых методов и алгоритмов динамической реконфигурации сети с существующими, а также исследуется зависимость возможного приращении времени жизни сети от параметров функционирования сенсорных узлов и мобильного стока.

В работе [6] автором было отмечено, что при изменении энергетических параметров и уровня сигнал/шум, топология сенсорной сети изменяется на каждом цикле работы сети. При этом, так как выбор головного узла основывается на остаточной энергии, то каждый узел может быть выбран главным в кластере, а, следовательно, продлить срок службы сенсорной сети в целом.

Наличие большого числа научных работ, посвященных разработке 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.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объект исследования — процесс функционирования автономной беспроводной сенсорной сети.

Цель работы — увеличение времени жизни автономных БСС за счет применения алгоритмов маршрутизации с поддержкой режима энергетической балансировки узлов сети.

Для достижения поставленной цели определена следующая задача: необходимо разработать модель для исследования алгоритмов многопутевой маршрутизации с учетом устранения дисбаланса энергопотребления в транзитных узлах БСС.

4. Постановка задачи маршрутизации с учетом устранения дисбаланса энергопотребления в транзитных узлах беспроводной сенсорной сети

Рассмотрим сеть, состоящую из m узлов маршрутизации. В рамках базовой модели конфигурация сети описывается с помощью графа $G_s = (V_s, E_s)$, где $V_s = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_m\}$ — множество узлов маршрутизации сети, $E_s = \{\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n\}$ — множество каналов связи (рис. 1). Для каждого канала связи $(i, j) \in E_s$ задана его пропускная способность $c_{i,j}$. Величина $x_{i,j}$, характеризует долю входного трафика, протекающего в канале $(i, j) \in E_s$.

Если динамически менять роли узлов и перестраивать топологию сети, то можно приблизить время жизни сети ко времени жизни окончательного устройства (ОУ). Это увеличение времени жизни возможно за счет того, что большую часть времени каждый из узлов будет находиться в роли ОУ. При этом наборы одновременно работающих узлов — маршрутизаторов (МУ) циклически сменяют друг друга. Решения о перестроении топологии принимаются на координаторе сети.

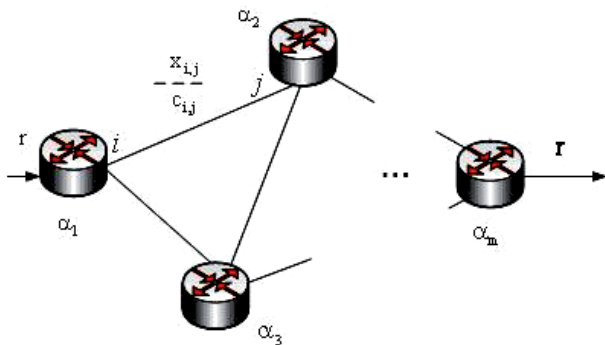


Рис. 1. Пример графа для описания модели сети

Решим задачу максимизации времени жизни сети. Построим все связанные подграфы $T_k, k \in \overline{1, K}$ графа G_s , являющийся деревом с корневым элементом α_y и содержащий все вершины G_s . R_k — набор всех МУ графа T_k . Рассмотрим произвольное подмножество $\{R_{k_s}\}_{s=1}^S$ из множества $\{R_k\}_{k=1}^K$. Имеем S независимых наборов множества $\{R_{k_s}\}_{s=1}^S$, каждый из которых содержит S_u МУ и $S - S_u$ ОУ. Тогда средняя сила тока в узле выразится формулой:

$$I_j = I_R \left(\frac{S_u}{S} \right) + I_E \left(\frac{S - S_u}{S} \right) = I_E + (I_R - I_E) \frac{S_u}{S}, \quad (1)$$

где I_R — средняя за время ВІ (Beacon Interval — интервал между маяками) сила тока в узле, находящегося в роли МУ; I_E — средняя за время ВІ сила тока в узле, находящемся в роли ОУ. Время жизни БСС определяется устройством с самым коротким временем жизни:

$$T_{WSN} = \min_j \frac{Q_{bat j}}{I_j} \rightarrow \max, \quad (2)$$

где $Q_{bat j}$ — заряд батареи узла α_j . Далее для простоты предполагаем, что в начальный момент времени все устройства имеют одинаковый заряд батареи $Q_{bat j} = Q_{bat}$. Тогда условие (2) переходит в:

$$\max_j I_j = I_E + (I_R - I_E) \frac{\max S_u}{S} \rightarrow \min. \quad (3)$$

Если наборы $\{R_{k_s}\}_{s=1}^S$ независимы, $\forall s \in \overline{1, S} \rightarrow S_u \in \{0; 1\}$, поэтому $\max S_u = 1$ и остается лишь условие:

$$S \rightarrow \max. \quad (4)$$

Это и есть искомое условие. Итак, для того чтобы добиться максимизации времени жизни сети необходимо найти максимальное число независимых наборов маршрутизаторов.

Постановка задачи маршрутизации с учетом устранения дисбаланса энергопотребления в транзитных узлах БСС:

- Дано:**
- количество каналов связи в сети (n);
 - количество узлов в сети (m);
 - узел-отправитель пакетов α_j ;
 - узел-получатель пакетов α_j ;
 - пропускные способности каналов связи ($c_{i,j}$);
 - метрики каналов связи ($f_{i,j}$);
 - интенсивность трафика (r), поступающего в сеть.

Необходимо определить:

- путь (пути) от узла-отправителя к узлу-получателю, которые проходят вдоль каналов моделируемой сети связи, и являются «оптимальными» в рамках выбранной метрики;
- зависимость количества путей, которые используются в ходе маршрутизации, как функции от интенсивности трафика, поступающего в сеть;
- зависимость энергозатрат от количества задействованных узлов.

5. Модель многопутевой маршрутизации по технологии Traffic Engineering в форме задачи квадратичного программирования

Пусть структура сети и пропускные способности ее каналов связи представлены на рис. 2. Тогда общее число узлов в сети равно пяти ($m = 5$), а общее число каналов связи — десяти ($n = 10$). Пусть узел-отправитель пакетов — узел 1, а узел-получатель — узел 5.

Количество каналов связи в сети (n) определяет размерность вектора x , переменные $x_{i,j}$ которого характеризуют долю трафика в канале связи между i -м и j -м узлами. Размерность вектора метрик f соответствует числу каналов связи в сети (n), переменные $f_{i,j}$

которого характеризуют метрику канала связи между i -м и j -м узлами. Для реализации многопутевой маршрутизации на координаты вектора x накладываются следующие ограничения:

$$0 \leq x_{i,j} \leq 1, \quad (i, j = \overline{n, m}; i \neq j), \quad (5)$$

где переменные $x_{i,j}$ могут принимать значения на интервале от нуля до единицы. Физический смысл переменных (5) определяет возможность разветвления потока на несколько путей в сети, то есть трафик может передаваться как одним, так и множеством путей. В этом случае каждому каналу связи будет присваиваться метрика:

$$f_{i,j} = \frac{10^7}{c_{i,j}},$$

где $c_{i,j}$ — пропускная способность канала связи между i -м и j -м узлами ($1/c$).

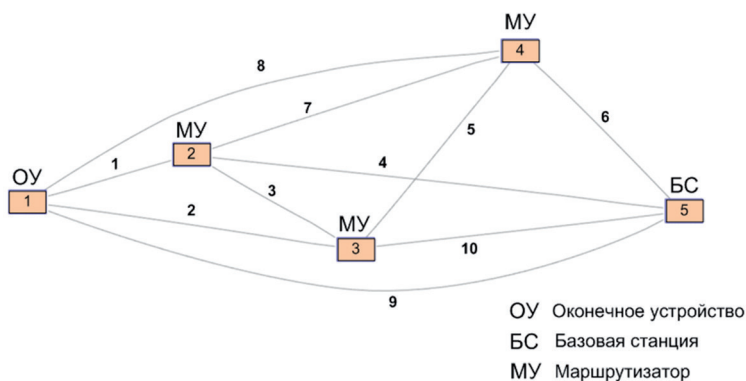


Рис. 2. Структура моделируемой сети

В ходе решения задачи маршрутизации важно не допустить потери пакетов на сетевых узлах и в сети в целом, для этого необходимо обеспечить выполнение условий сохранения потока:

$$\begin{cases} \sum_{j:(i,j)} x_{i,j} - \sum_{j:(j,i)} x_{j,i} = 1, & \text{для узла отправителя,} \\ \sum_{j:(i,j)} x_{i,j} - \sum_{j:(j,i)} x_{j,i} = 0, & \text{для транзитных узлов,} \\ \sum_{j:(i,j)} x_{i,j} - \sum_{j:(j,i)} x_{j,i} = -1, & \text{для узла получателя.} \end{cases} \quad (6)$$

Кроме этого, необходимо обеспечить выполнение условий предотвращения перегрузки в каналах сети:

$$r \cdot x_{i,j} \leq c_{i,j}, \quad (i, j = \overline{n, m}; i \neq j). \quad (7)$$

Для решения задачи воспользуемся моделью многопутевой маршрутизации по технологии Traffic Engineering, где в качестве целевой функции, подлежащей минимизации используется квадратичная форма:

$$\min_x [x^t H x + f^t x],$$

где H — диагональная дополнительно определенная матрица размера $n \times n$, координаты, которой (как и вектора f) характеризуют метрику каналов связи.

Таким образом, решение задачи многопутевой маршрутизации по технологии Traffic Engineering сводится к решению оптимизационной задачи квадратичного программирования с помощью инструментария «Optimization Toolbox» пакета MatLab v.14.b, который представлен подпрограммой «quadprog»:

$$[x, fval] = \text{quadprog}(H, [], A, b, Aeq, beq, lb, ub) \text{ — решение,}$$

$$fval = \min_x [x^t H x + f^t x] \text{ при } Aeq \cdot x = beq, \quad A \cdot x \leq b \text{ и } lb \leq x \leq ub,$$

где $H = \text{diag}(f)$, то есть на главной диагонали матрицы H находятся метрики каналов связи; f, x, b, beq — векторы, A и Aeq — матрицы, lb и ub — вектор-столбцы размера n , причем в соответствии с выражением (5) все координаты вектора lb равны нулю, а все координаты вектора ub приравнивают единицам. Для описания задачи маршрутизации в формализмах среды MatLab условия сохранения потока (6) необходимо представить в векторно-матричной форме: $Aeq \cdot x = beq$. Таким образом, матрица Aeq имеет размерность $m \times n$, координаты которой принимают численные значения $\{-1, 0, 1\}$ при $(j = \overline{1, m}; i = \overline{1, n})$:

$$a_{j,i} = 1, \text{ если } i\text{-й канал связи выходит из } j\text{-го узла;}$$

$$a_{j,i} = -1, \text{ если } i\text{-й канал связи входит в } j\text{-й узел;}$$

$$a_{j,i} = 0, \text{ если } i\text{-й канал связи не инцидентный } j\text{-му узлу.}$$

Размерность вектора beq соответствует числу узлов в сети (m), а его координаты формируются следующим образом:

$$beq_j = 1, \text{ если } i\text{-й узел является узлом-отправителем пакетов;}$$

$$beq_j = -1, \text{ если } i\text{-й узел является узлом-получателем пакетов;}$$

$$beq_j = 0, \text{ если } i\text{-й узел является транзитным узлом.}$$

Условия (7) также необходимо представить в векторно-матричной форме неравенства $A \cdot x \leq b$.

Пример описания и решения задачи маршрутизации в среде MatLab. Формируем искомый вектор x и вектор метрик f :

$$x = \begin{bmatrix} x_{1,2} \\ x_{1,3} \\ x_{1,4} \\ x_{1,5} \\ x_{2,5} \\ x_{3,2} \\ x_{3,4} \\ x_{3,5} \\ x_{4,2} \\ x_{4,5} \end{bmatrix}, \quad f = \begin{bmatrix} f_{1,2} \\ f_{1,3} \\ f_{1,4} \\ f_{1,5} \\ f_{2,5} \\ f_{3,2} \\ f_{3,4} \\ f_{3,5} \\ f_{4,2} \\ f_{4,5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10^7 / 250 / 4 \\ 10^7 / 250 / 4 \\ 10^7 / 250 / 4 \\ 10^7 / 0 \\ 10^7 / 250 / 4 \\ 10^7 / 250 / 4 \\ 10^7 / 250 / 4 \\ 10^7 / 250 / 4 \\ 10^7 / 250 / 4 \\ 10^7 / 250 / 4 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Формализуем сохранение потока в узлах сети (6):

$$\begin{cases} x_{1,2} + x_{1,3} + x_{1,4} + x_{1,5} = 1, \\ -x_{1,2} - x_{3,2} - x_{4,2} + x_{2,5} = 0, \\ -x_{1,3} + x_{3,2} + x_{3,4} + x_{3,5} = 0, \\ -x_{3,4} - x_{1,4} + x_{4,2} + x_{4,5} = 0, \\ -x_{1,5} - x_{2,3} - x_{3,5} - x_{4,5} = -1. \end{cases}$$

Формируем матрицу Aeq и вектор beq :

$$Aeq = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 \end{bmatrix}, \quad beq = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix},$$

формализуем условия предотвращения перегрузки каналов связи (7):

$$\begin{cases} r \cdot x_{1,2} \leq c_{1,2}, \\ r \cdot x_{1,3} \leq c_{1,3}, \\ r \cdot x_{1,4} \leq c_{1,4}, \\ r \cdot x_{1,5} \leq c_{1,5}, \\ r \cdot x_{2,5} \leq c_{2,5}, \\ r \cdot x_{3,2} \leq c_{3,2}, \\ r \cdot x_{3,4} \leq c_{3,4}, \\ r \cdot x_{3,5} \leq c_{3,5}, \\ r \cdot x_{4,2} \leq c_{4,2}, \\ r \cdot x_{4,5} \leq c_{4,5}. \end{cases}$$

Формируем матрицу A и вектор b :

$$A = \begin{bmatrix} L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L \end{bmatrix}; \quad b = \begin{bmatrix} c_{1,2} \\ c_{1,3} \\ c_{1,4} \\ c_{1,5} \\ c_{2,5} \\ c_{3,2} \\ c_{3,4} \\ c_{3,5} \\ c_{4,2} \\ c_{4,5} \end{bmatrix},$$

где $L = lamda$.

Для структуры сети с пропускными способностями ее каналов связи, представленными на рис. 2, диагональная матрица метрик каналов имеет вид:

$$H = \begin{bmatrix} h_{1,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_{1,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_{1,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & h_{1,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_{1,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_{1,1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_{1,1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_{1,1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_{1,1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_{1,1} \end{bmatrix},$$

где $h_{1,1} = 10^7 / 250 / 4$, $H = diag(f)$, то есть на главной диагонали матрицы H находятся метрики каналов связи (8).

В соответствии с исходными данными при интенсивности входного трафика $r = 250$ будут задействованы все пути кроме 3, 5 и 7. При этом через 2, 3 и 4 узел проходит по 33,3 (3) % передаваемого трафика — с интенсивностью 83,3 (3). Таким образом, для 2, 3 и 4 узла энергозатраты распределены равномерно. Это соотношение не будет изменяться при уменьшении интенсивности входящего трафика. При увеличении количества узлов ретрансляторов задействованных для многопутевой маршрутизации, входящий трафик будет равномерно делиться между всеми МУ.

6. Обсуждение результатов разработки модели маршрутизации беспроводной сенсорной сети

Достоинством, разработанной модели, является возможность оценки эффективности по критерию минимального энергопотребления разных протоколов маршрутизации и режимов работы узлов БСС. К недостаткам данной модели следует отнести сложность описания сети содержащей большое количество каналов связи. Результаты исследований, полученные с помощью описанной модели полезны на этапе проектирования новых БСС.

Как показало исследование, при решении задачи многопутевой маршрутизации в транзитных узлах БСС в рамках предложенной модели входящий трафик будет равномерно делиться между всеми МУ. Следовательно, энергозатраты для каждого МУ уменьшаются, а продолжительность времени жизни автономной БСС возрастет пропорционально количеству МУ. Однако данный вывод не учитывает энергозатраты на обмен служебной информацией, количество которой возрастает в процессе организации работы БСС в таком режиме. Этот факт предстоит учесть в ходе дальнейших исследований.

7. Выводы

В результате проведенных исследований показано:

1. Если динамически менять роли узлов и перестраивать топологию сети, то можно приблизить время жизни сети ко времени жизни ОУ. Это увеличение времени жизни возможно за счет того, что большую часть времени каждый из узлов будет находиться в роли ОУ. При этом наборы одновременно работающих МУ циклически сменяют друг друга. Решения о перестроении топологии принимаются на координаторе сети.

2. Решена задача многопутевой маршрутизации с учетом устранения дисбаланса энергопотребления. Для того, чтобы добиться максимизации времени жизни сети необходимо найти максимальное число независимых наборов маршрутизаторов. При решении оптимизационной задачи квадратичного программирования получена равномерная нагрузка между транзитными узлами и, следовательно, их энергозатраты будут одинаковы.

Литература

1. Шостко, И. С. Анализ энергопотребления модулей для беспроводных сенсорных сетей стандарта IEEE 802.15.4 [Текст]: Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. / И. С. Шостко, Ю. Э. Соседка // Радиотехника. — 2014. — № 176. — С. 253–257.
2. Шостко, И. С. Метод устранения дисбаланса энергопотребления в беспроводной сенсорной сети [Текст] / И. С. Шостко, Ю. Э. Куля // Науково-практична конференція «Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку». — Харків: НАНГУ, 2015. — С. 7–8.
3. Шостко, И. С. Анализ потребляемой мощности и продолжительности работы в автономном режиме элементов беспроводных сенсорных сетей [Текст] / И. С. Шостко, Ю. Э. Соседка // Сборник научных работ ХУВС «Системы обработки информации». — 2014. — Вып. 5(121). — С. 100–104.
4. Chen, Y. Energy-balancing multipath routing protocol for wireless sensor networks [Text] / Y. Chen, N. Nasser // Proceedings of the 3rd international conference on Quality of service in heterogeneous wired/wireless networks – Qshine '06. — ACM Press, 2006. — Vol. 21. — P. 245–249. doi:10.1145/1185373.1185401
5. Ефремов, С. Г. Моделирование времени жизни динамически реконфигурируемых сенсорных сетей с мобильным стоком [Текст]: дис. ... канд. тех. наук / С. Г. Ефремов. — М., 2012. — 143 с.
6. Хуссейн, Я. Т. Методы повышения качества мониторинга в сенсорных сетях [Текст]: дис. ... канд. тех. наук / Я. Т. Хуссейн. — Х., 2013. — 166 с.
7. Yan Jin. EECCR: An Energy-Efficient m-Coverage and n-Connectivity Routing Algorithm Under Border Effects in Heterogeneous Sensor Networks [Text] / Yan Jin, Ling Wang, Ju-Yeon Jo, Yoohwan Kim, Mei Yang, Yingtao Jiang // IEEE Transactions on Vehicular Technology. — 2009. — Vol. 58, № 3. — P. 1429–1442. doi:10.1109/tvt.2008.926216
8. Yuping Dong. An Energy Conserving Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks [Text] / Yuping Dong, Hwa Chang, Zhongjian Zou, Sai Tang // International Journal of Future Generation Communication and Networking. — 2011. — Vol. 4, № 1. — P. 39–54. doi:10.14257/ijfgcn

9. Wang, Q. A Realistic Power Consumption Model for Wireless Sensor Network Devices [Text] / Q. Wang, M. Hempstead, W. Yang // 2006 3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks. — IEEE, 2006. — Vol. 1. — P. 286–295. doi:10.1109/sahcn.2006.288433
10. Gautam, G. C. A Comparative Study of Time Synchronization Protocols in Wireless Sensor Networks [Text] / G. C. Gautam, T. P. Sharma // International Journal of Applied Engineering Research, Dindigul. — 2011. — Vol. 1, № 4. — P. 691–705.
11. Sicari, S. DyDAP: A dynamic data aggregation scheme for privacy aware wireless sensor networks [Text] / S. Sicari, L. A. Grieco, G. Boggia, A. Coen-Porisini // Journal of Systems and Software. — 2012. — Vol. 85, № 1. — P. 152–166. doi:10.1016/j.jss.2011.07.043

РОЗРОБКА МОДЕЛІ МАРШРУТИЗАЦІЇ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ З УРАХУВАННЯМ УСУНЕННЯ ДИСБАЛАНСУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

При проектуванні безпроводної сенсорної мережі (БСМ) з автономними вузлами, виникає питання, як забезпечити максимальну тривалість її життя. У статті з цією метою пропонується використовувати багатошляхову маршрутизацію з підтримкою режиму енергетичного балансування вузлів мережі. Розроблено модель для дослідження алгоритмів багатошляхової маршрутизації з урахуванням усунення дисбалансу енергоспоживання в транзитних вузлах БСМ.

Ключові слова: безпроводна сенсорна мережа, багатошляхова маршрутизація, енерговитрати.

Шостко Ігорь Светославович, доктор технических наук, доцент, кафедра телекоммуникационных систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: igor-shostko@yandex.ru.

Куля Юлия Эдуардовна, аспирант, кафедра телекоммуникационных систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: sosedka.27@mail.ru.

Шостко Ігор Світославович, доктор технічних наук, доцент, кафедра телекомунікаційних систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Куля Юлія Едуардівна, аспірант, кафедра телекомунікаційних систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Shostko Igor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: igor-shostko@yandex.ru.

Kulia Julia, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: sosedka.27@mail.ru