

УДК 621.396. 642. 2

Ю.Г. Даник, В.В. Воротніков, О.С. Бойченко

Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова, Житомир

МЕТОД ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО МАРШРУТУ В БЕЗДРОТОВИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

В статті запропоновано метод формування енергоефективного маршруту в бездротових інформаційно-комунікаційних мережах, який при створенні маршруту обирає серед вузлів ті, які мають найменшу вартість з'єднання. Розрахунок вартості з'єднання реалізовано за допомогою нелінійної схеми компромісів, яка поєднує в собі конфліктну природу критеріїв якості (мінімальна відстань між вузлами, максимальна пропускна здатність каналу зв'язку, максимальна залишкова ємність батареї вузла).

Ключові слова: енергозберігаючі протоколи маршрутизації, бездротові інформаційно-комунікаційні мережі, нелінійна схема компромісів.

Вступ

Постановка проблеми. Розширення сфери використання бездротових інформаційно-комунікаційних мереж (ІКМ) і підвищення їх динамічності, висуває нові вимоги до організації формування їх структури. Оскільки зв'язок в даних мережах між пристроями (вузлами) здійснюється по радіолініях, а пристрої (вузли) можуть бути як стаціонарні так і мобільні, то це призводить до швидких змін топології на певному проміжку часу. Під час формування маршруту між відповідними пристроями (вузлами) постає завдання щодо визначення оптимального маршруту за декількома показниками, серед яких можуть виступати як характеристики вузлів (пристроїв) так і характеристики каналів зв'язку.

Тому виникає необхідність формування оптимального маршруту за багатокритеріальним показником якості, що має на меті обрання з сукупності маршрутів між визначеними пристроями (вузлами) ІКМ лише одного, який забезпечує працездатність мережі з заданим пороговим значенням цільової функції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для створення з'єднання кожен пристрій (вузол) повинен проводити широкомовне розсилання сигналів, на що витрачаються енергетичні ресурси пристроїв (вузлів). Додаткові витрати енергетичних ресурсів призводять до зменшення часу життя мережі, що визначається як відношення суми всіх ємностей акумуляторних батарей до потужності випромінювання.

Відомо, що при зменшенні енергетичних ресурсів пристроїв (вузлів) знижується й ефективність бездротових ІКМ. На сьогоднішній день відомі наступні енергозберігаючі технології: наслідуваний енергозберігаючий режим (Legacy Power-save Mode), технологія Unscheduled Automatic Power Save Delivery (u-APSD), режим енергозбереження техно-

логії «множинного входу, множинного виходу» (Multiple-input / multiple-output – MIMO), режим енергозберігаючого множинного опитування (Power Save Multi-Poll – PSMP) [1]. Застосування цих технологій реалізовано за допомогою енергозберігаючих та гібридних протоколів маршрутизації.

Гібридні протоколи маршрутизації реалізують проактивну маршрутизацію в кластері та реактивну між кластерами [2, 3].

Енергозберігаючі протоколи маршрутизації реалізують маршрутизацію за вимогою. На початковому етапі формуються маршрути між вузлом-відправником і вузлом-отримувачем та обирається оптимальний за відповідним критерієм (залишкова ємність батареї пристрою, відстань між пристроями). Спільною рисою енергозберігаючих протоколів є використання режиму енергозбереження. Це означає, що вузол, який не приймає або не передає інформацію переводиться в режим роботи, при якому витрачається мінімальна кількість енергоресурсів [4].

В статті [5] авторами запропоновано енергозберігаючий протокол Power Aware Dynamic Source Routing Protocol to Increase Lifetime of Mobile Ad Hoc Networks (PADSR and Survival DSR), що є багатопроцесним протоколом маршрутизації. В цьому протоколі алгоритм маршрутизації при зміні кількості переходів між мобільними вузлами обирає з можливих маршрутів той, в якого вузол при наступному переході має найвищий рівень потужності. Алгоритм модифікується тоді, коли залишок енергоресурсів вузла, що пересилає дані в декількох переходах (хопах) шляху, досягає значення меншого або рівного деякому пороговому рівню. Для виключення використання залишкової ємності вузол шукає інший шлях за допомогою сусідніх вузлів.

В статті [6] запропоновано енергозберігаючий протокол PDTMRP (Power-aware dual-tree-based multicast routing protocol for mobile ad hoc networks),

який є модифікацією MAODV (Multicast ad hoc on-demand distance vector routing protocol). PDTMRP спрямований на забезпечення стійкості маршруту багатошляхової маршрутизації. Відповідно до маршруту, що реалізовано в ньому, багатоадресні пакети даних розбиваються на дві частини й кожен частину пересилають по окремому дереву. Подвійні дерева будуються на основі групування вузлів. Основна мета протоколу полягає в максимізації часу життя мережі шляхом балансування навантаження, зменшення кількості реконфігурування маршруту, а також контролю перевантаження при формуванні маршруту.

Таким чином, сучасні протоколи маршрутизації при формуванні маршруту, як правило, враховують лише параметри вузла (залишкова ємність батареї вузла, пропускна здатність, степінь зв'язності) або лише параметри каналу зв'язку (пропускна здатність каналу зв'язку між вузлами, відстань між пристроями). Питанням врахування параметрів вузлів, каналів зв'язку при формуванні маршруту в бездротовій мережі у відомій літературі не було присвячено потрібної уваги.

Метою статті є розробка способу формування енергоефективного маршруту в бездротових ІКМ з урахуванням параметрів вузла та каналу зв'язку між вузлами.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо бездротову мережу, що складається з N пристроїв $V = (v_1, v_2, \dots, v_i), i = 1, \dots, N$. Кожен пристрій – це вузол, що описується наступними параметрами:

1. Номінальна ємність акумуляторної батареї пристрою – $E_{\text{ном}}$ (Вт·год).
2. Залишкова ємність акумуляторної батареї пристрою – $E_{\text{зал}}$ (Вт·год).
3. Радіус дії пристрою – d (м).
4. Пропускна здатність, яку може забезпечити вузол при використанні відповідної бездротової технології – M (МБіт/с).

Спосіб формування енергоефективного маршруту запропоновано розбити на наступні етапи:

1. Етап формування початкових даних.

На даному етапі відбувається встановлення зв'язку між вузлами за радіусом дії кожного вузла та формування матриці відстаней [7]:

$$R = \begin{cases} r_{ij}, & \text{якщо } r_{ij} \leq d_i; \\ 0, & \text{якщо } r_{ij} > d_i, \end{cases} \quad (1)$$

де r_{ij} – відстань між i та j вузлом; d_i – радіус дії i -го вузла; $i, j = 1, 2, \dots, N$.

Так як пристрої використовують різні бездротові технології, то пропускна здатність каналів

зв'язку між вузлами повинна бути узгоджена та визначена тією технологією, яка підтримується обома пристроями. Для зберігання значень пропускної здатності каналу між i та j вузлом використовується матриця M :

$$M = \begin{cases} M_i, & \text{якщо } M_i \leq M_j; \\ M_j, & \text{якщо } M_i > M_j, \end{cases} \quad (2)$$

де M_i, M_j – пропускна здатність i -го та j -го вузла; $i, j = 1, 2, \dots, N$.

2. Етап формування маршруту.

Задача формування маршруту в мережі, який би забезпечував вибір мінімальної відстані між вузлами, максимальної пропускної здатності каналу зв'язку, вузла з максимальним значенням залишкової ємності акумуляторної батареї, полягає в знаходженні шляху доставки даних від відправника s до адресата t з мінімальними сумарними витратами ресурсів вузлів цього шляху:

$$P_{\text{opt}} = \arg \min_{p(s,t) \in P(s,t)} C[p(s,t)], \text{ для } \forall s, t \in V, \quad (3)$$

де $P(s,t)$ – множина маршрутів між s й t ;

$p(s,t)$ – маршрут між $s, t \in V$;

$C[p(s,t)]$ – вартість маршруту, яка розраховується за наступним виразом:

$$C[p(s,t)] = \sum_{i=0}^{l-1} Y(v_i, v_{i+1}), \quad (4)$$

де l – кількість вершин, що належать до маршруту $p(s,t)$;

$Y(v_i, v_{i+1})$ – вагова функція для дуг графу, яка називається метрикою вартості з'єднання i є мірою витрат ресурсів вузлів на передачу даних між вузлами v_i, v_{i+1} .

Розрахунок вартості з'єднання є багатокритеріальною задачею для вирішення якої знаходиться цільова функція Y , що є скалярною згортокою часткових критеріїв [7]:

$$Y(v_i, v_{i+1}) = f(R, M, E_{\text{зал}}). \quad (5)$$

Вартість з'єднання буде оптимальною, якщо забезпечено виконання наступних умов: мінімальна відстань між сусідніми вузлами, максимальна пропускна здатність каналу зв'язку, максимальне значення залишкової ємності акумуляторної батареї. Тому, обрані часткові критерії мають різну розмірність та зміст навантаження. Процес оптимізації критеріїв описується системою (6):

$$R \rightarrow \min, M \rightarrow \max, E_{\text{зал}} \rightarrow \max. \quad (6)$$

Для розв'язку (6) запропоновано нелінійну схему компромісів, що поєднує в собі конфліктну природу критеріїв якості [8]:

$$Y(v_i, v_{i+1}) = \arg \min \left\{ \frac{1}{1-R} + \frac{1}{M} + \frac{1}{E_{\text{зал}}} \right\}. \quad (7)$$

$$E_{\text{зал}p(s,t)} = \sum_{i=1}^l E_{\text{зал}i}. \quad (9)$$

3. Етап оцінювання маршруту.

Оцінювання маршруту запропоновано проводити за трьома метриками:

1. Загальна довжина маршруту:

$$L_{p(s,t)} = \sum_{i=1}^l r_{v_i, v_{i+1}}. \quad (8)$$

2. Значення залишкової ємності маршруту:

3. Час життя мережі за умови, що передавач має максимально дозволена потужність випромінювання $W_{tr} = 1000$ мВт:

$$t_{p(s,t)} = \sum_{i=1}^l E_{\text{зал}i} / 1 / W_{tr}. \quad (10)$$

Алгоритм, за яким реалізується запропонований метод наведено на рис. 1.

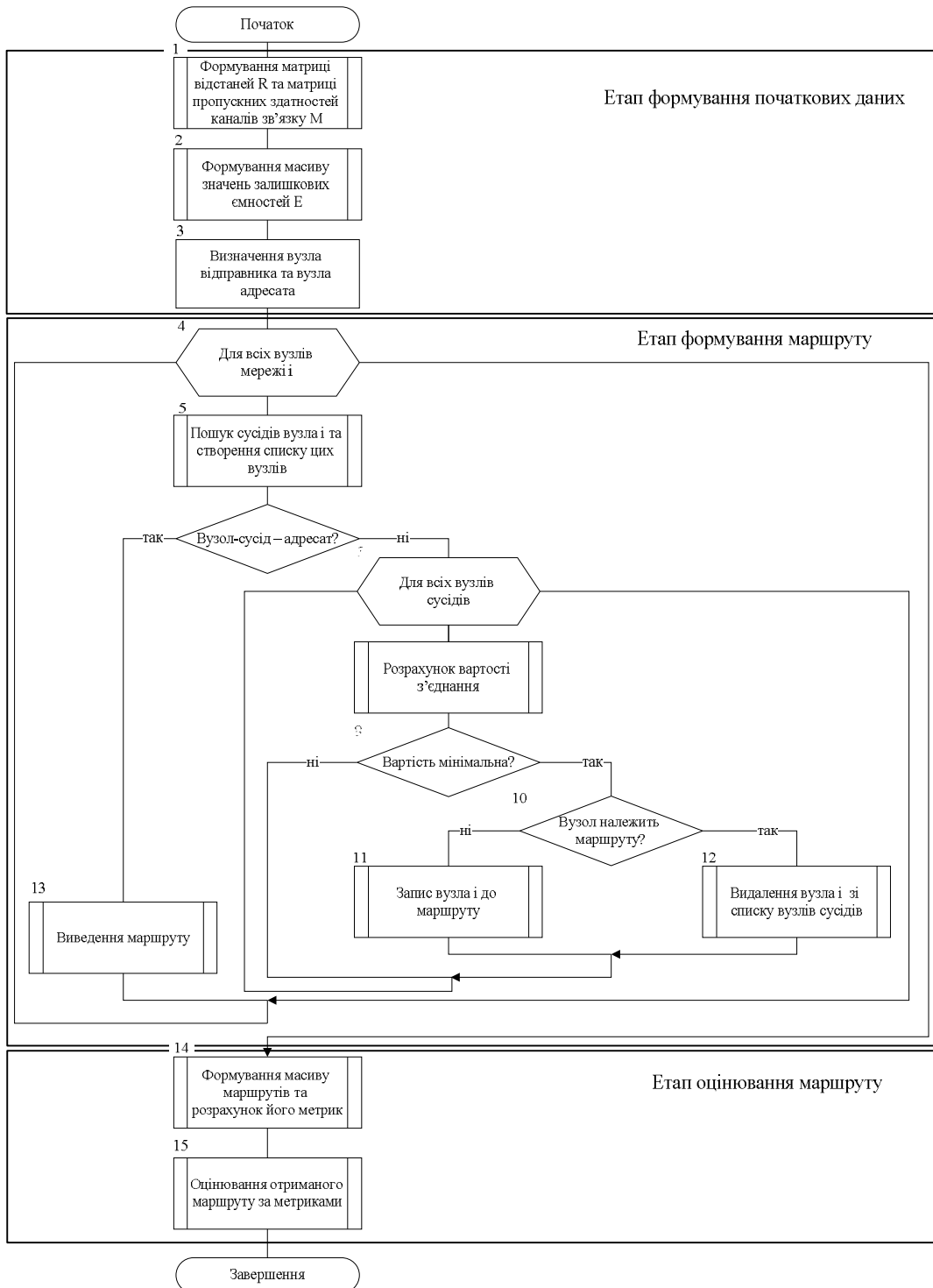


Рис. 1. Алгоритм формування енергоефективного маршруту

Працездатність способу формування енерго-ефективного маршруту в мережах з різними бездротовими технологіями перевірено на прикладі мере-

жі, яка складається з 8 пристроїв [10, 11], параметри яких наведені в табл. 1. Розміщення вузлів мережі на площині зображені на рис. 2.

Таблиця 1

Параметри пристроїв

№	Назва	$E_{ном}$ (Вт·год)	d (м)	S (МБіт/с)
1	Getac X500 Mobile-Server	94	100	450
2	Getac B300	94	180	1300
3	Getac Z710	28	100	450
4	Getac PS336	20	100	450
5	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	100	54
6	Panasonic Toughbook CF-D1	23	100	54
7	Getac F110	31	180	1300
8	Getac MH132	4	100	54

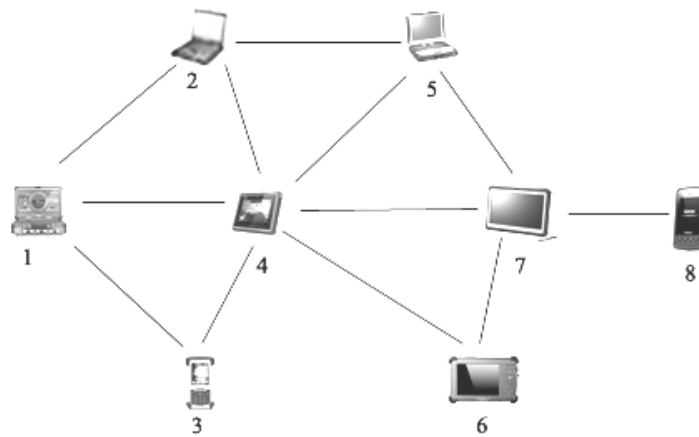


Рис. 2. Розміщення вузлів

На етапі формування початкових даних був обраний радіус дії пристрою, що дорівнює 85 метрів. Після заповнення матриці відстаней за допомогою виразу (1) та нормування вона матиме такий вигляд:

$$R[8,8] = \begin{pmatrix} 0 & 0,76 & 0,67 & 0,81 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,76 & 0 & 0 & 0,59 & 70 & 0 & 0 & 0 \\ 0,67 & 0 & 0 & 0,56 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,81 & 0,59 & 0,56 & 0 & 0,81 & 0,94 & 0,82 & 0 \\ 0 & 0,82 & 0 & 0,81 & 0 & 0 & 0,59 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,94 & 0 & 0 & 0,52 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,82 & 0,59 & 0,52 & 0 & 0,47 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,47 & 0 \end{pmatrix}$$

Далі заповнюється матриця пропускних здатностей каналів зв'язку за виразом (2) та нормування елементів матриці пропускних здатностей каналів зв'язку.

Найбільш можлива пропускна здатність каналу зв'язку – 1300 МБіт/с. Це значення прийнято за гранично можливе.

Матриця пропускних значень після нормування приймає вигляд:

$$M[8,8] = \begin{pmatrix} 0 & 0,35 & 0,35 & 0,35 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,35 & 0 & 0 & 0,35 & 0,04 & 0 & 0 & 0 \\ 0,35 & 0 & 0 & 0,35 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,35 & 0,35 & 0,35 & 0 & 0,04 & 0,04 & 0,35 & 0 \\ 0 & 0,04 & 0 & 0,04 & 0 & 0 & 0,04 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,04 & 0 & 0 & 0,04 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,35 & 0,04 & 0,04 & 0 & 0,04 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,04 & 0 \end{pmatrix}$$

Значення залишкової ємності акумуляторних батарей пристроїв мережі наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Значення залишкової ємності

№	1	2	3	4	5	6	7	8
$E_{зал}$ (Вт·год)	85	88	20	16	50	18	27	3,5

Для нормування цих значень обирається максимальна номінальна ємність акумуляторної батареї серед пристроїв мережі, що дорівнює 94 мВт·год. Нормовані значення наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Значення залишкової ємності після нормування

№	1	2	3	4	5	6	7	8
$E_{\text{зал}}$ (Вт·год)	0,9	0,94	0,21	0,17	0,53	0,19	0,29	0,04

Далі визначається вузол відправник та вузол адресат. В даному прикладі це вузли 1 та 8.

Під час етапу формування маршруту для даних вузлів поетапно формується множина маршрутів:

Для пристрою 1 визначено сусідні вузли будь-яким відомим методом та створено список цих вузлів: 2, 3, 4.

Проводиться перевірка чи є серед вузлів сусідів вузла адресата. Якщо вузла адресата немає, то відбувається перехід до наступного етапу. В іншому випадку виводиться маршрут. Серед вузлів 2, 3, 4 вузла адресата немає, тому відбувається перехід до наступного етапу.

Використовуючи вираз (7) проведено розрахунок вартості з'єднання Y для каналів зв'язку між відповідними вузлами:

$$Y_{1-2} = \arg \min \left\{ \frac{1}{1-R_{1,2}} + \frac{1}{E_{\text{зал},2}} + \frac{1}{M_{1,2}} \right\} = 5,156.$$

$$Y_{1-3} = \arg \min \left\{ \frac{1}{1-R_{1,3}} + \frac{1}{E_{\text{зал},3}} + \frac{1}{M_{1,3}} \right\} = 8,824.$$

$$Y_{1-4} = \arg \min \left\{ \frac{1}{1-R_{1,4}} + \frac{1}{E_{\text{зал},4}} + \frac{1}{M_{1,4}} \right\} = 10,022.$$

З отриманих значень цільової функції Y для каналів зв'язку обирається канал, який має найменше значення. Це канал між 1 та 2 пристроєм.

Відбувається перевірка належності вузла 2 до маршруту $p(s, t)$. Вузол 2 не належить цьому маршруту, тому відбувається перехід до наступного етапу.

Вузол 2 заноситься до маршруту: $p(s, t) = \{1, 2\}$.

Після цього відбувається перехід до пошуку сусідів для вузла 2.

Далі перевіряється умова належності вузлів сусідів до тих вузлів, які вже є в маршруті. Один з сусідів вже є в маршруті (вузол 1). Тому він видаляється зі списку сусідніх вузлів.

Після цього за допомогою виразу (7) проведено розрахунок цільової функції Y для каналів зв'язку між відповідними вузлами:

$$Y_{2-4} = \arg \min \left\{ \frac{1}{1-R_{2,4}} + \frac{1}{E_{\text{зал},4}} + \frac{1}{M_{2,4}} \right\} = 9,916.$$

$$Y_{2-5} = \arg \min \left\{ \frac{1}{1-R_{2,5}} + \frac{1}{E_{\text{зал},5}} + \frac{1}{M_{2,5}} \right\} = 30,459.$$

З отриманих значень цільової функції Y для каналів зв'язку обирається канал, який має найменше значення. Це канал між 2 та 4 вузлом. Вузол 4 заноситься до маршруту $p(s, t) = \{1, 2, 4\}$.

Далі визначаються сусіди вузла 4. Це вузли 1, 2, 3, 5, 6, 7.

Серед сусідніх вузлів вузла адресата не виявлено.

У результаті перевірки умови належності вузлів сусідів до вузлів, які вже є в маршруті, виявлено, що два з сусідніх вузла вже є в маршруті, це вузли 1 та 2 – вони видаляються зі списку сусідніх вузлів.

Після цього за допомогою виразу (7) проведено розрахунок цільової функції Y для каналів зв'язку між відповідними вузлами:

$$Y_{4-3} = \arg \min \left\{ \frac{1}{1-R_{4,3}} + \frac{1}{E_{\text{зал},3}} + \frac{1}{M_{4,3}} \right\} = 8,796.$$

$$Y_{4-5} = \arg \min \left\{ \frac{1}{1-R_{4,5}} + \frac{1}{E_{\text{зал},5}} + \frac{1}{M_{4,5}} \right\} = 35,591.$$

$$Y_{4-6} = \arg \min \left\{ \frac{1}{1-R_{4,6}} + \frac{1}{E_{\text{зал},6}} + \frac{1}{M_{4,6}} \right\} = 130,263.$$

$$Y_{4-7} = \arg \min \left\{ \frac{1}{1-R_{4,7}} + \frac{1}{E_{\text{зал},7}} + \frac{1}{M_{4,7}} \right\} = 7,604.$$

З отриманих значень цільової функції Y для каналів зв'язку обирається канал, який має найменше значення. Це канал між 4 та 7 вузлом. Вузол 7 заноситься до маршруту: $p(s, t) = \{1, 2, 4, 7\}$.

Визначаються сусіди вузла 7. Це вузли 4, 5, 6 та 8.

При перевірці наявності серед сусідніх вузлів вузла адресату був знайдений вузол адресат, тому виводиться сформований маршрут:

$$p_E(s, t) = \{1, 2, 4, 7, 8\}.$$

Етап оцінювання маршруту реалізує розрахунок метрик маршрутів за виразами (8, 9, 10). Отримані результати зведені до таблиці 4.

Таблиця 4

Значення розрахованих метрик маршруту

	Загальна довжина маршруту L_M .	Значення залишкової ємності маршруту $E_{\text{зал}}$	Час життя мережі t_L
Дейкстри-Прима	179	145	48,33
Запропонований	225	239	59,75

Отже, при застосуванні запропонованого методу формування маршруту $p_E(s, t)$ отримано, що у порівнянні з методом формування маршруту Дейкстри-Прима $p_L(s, t)$:

1) збільшиться загальна довжина маршруту L_M на 20%, що обумовлено включенням до маршруту проміжних вузлів;

2) збільшиться значення залишкової ємності маршруту $E_{\text{зал}}$ на 39%, що обумовлено включенням до маршруту вузлів з максимальною залишковою ємністю батареї;

3) збільшиться час життя мережі t_L на 20%, що обумовлено переведенням вузлів у енергозберігаючий режим.

Висновки

Розроблений спосіб формування енергоефективного маршруту в мережах з різними бездротовими технологіями враховує не тільки відстань між пристроями, пропускну здатність каналу зв'язку, що є кількісними показниками якості каналу зв'язку, але й враховує властивості самого пристрою, а саме: залишкову ємність акумуляторної батареї пристрою. Знання характеристик відповідних пристроїв, що живляться акумуляторними батареями, надасть змогу проводити оцінювання часу життя мережі з метою підвищення її функціональної живучості.

Подальші наукові дослідження будуть спрямовані на розробку рекомендацій щодо підвищення живучості мережі шляхом використання ефективних способів маршрутизації.

Список літератури

1. Бойченко О.С. Аналіз енергозберігаючих протоколів бездротових інформаційно-комунікаційних мереж / О.С. Бойченко, В.В. Воротніков // Проблеми створення, розвитку та застосування інформаційних систем спеціального призначення: 20 наук. – практ. конф. ЖВІ ДУТ, 28 листопада 2014 р.: Тези доп. – Житомир: ЖВІ ДУТ, 2014. – С. 136–137.
2. Бойченко О.С. Спосіб формування кластерів вузлів мобільної мережі для ієрархічної маршрутизації. Патент України на винахід №107528 (UA), Н04Н

20/00 (2008.01) / В.В. Воротніков, Ю.О. Кулаков, О.С. Бойченко // №а 2013 09911; заявл. 09.08.2013; опубл. 12.01.2015, бюл. «Промислова власність», №1. – К.: ДП УІПВ. – 2015.

3. Воротніков В.В. Энергоэффективная иерархическая маршрутизация в самоорганизующихся динамических сетях / В.В. Воротніков, Ю.А. Кулаков // УСиМ. – 2014. – №1. – С 70-76.

4. Mishra S. Power efficient dynamic Source Routing Protocol / S. Mishra, B. K. Pattanayak // International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering. – 2014. – Vol. 9, № 7. – P. 185-204.

5. Power and Delay Aware On-Demand Routing For Ad Hoc Networks / A.K. Jagadev, B.K. Pattanayak, M.K. Mishra, M. Nayak // (IJCS) International Journal on Computer Science and Engineering. – 2010. – Vol. 2, №4. – P. 917-923.

6. Wei W. Multiple Tree Video Multicast Over Wireless Ad Hoc Networks / W. Wei, A. Zakhor // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2007. – P. 2-15.

7. Boychenko O. Multicriterion Estimation of Efficiency of Mobile Network Clustering / O. Boychenko, Y. Kulakov, V. Vorotnikov // The Advanced Science Journal. – 2015. – Volume 2015, Issue 1. – P. 61-67.

8. Воронин А.Н. Нелинейная схема компромиссов в многокритериальных задачах оценивания и оптимизации / А.Н. Воронин // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – №4. – С. 106-114.

9. Ляхов А. И. Анализ совместного использования проактивного и реактивного методов распространения сетевой информации в многошаговых беспроводных сетях. / А.И. Ляхов, П.О. Некрасов, Д.М. Островский, А.А. Сафонов, Е.М. Хоров. // Информационные процессы. – Том 12, № 3. – 2012. – С. 198-212.

10. Офіційний сайт компанії Getac [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://ru.getac.com/index.html>.

11. Офіційний сайт компанії Panasonic [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.panasonic.com/ua/>.

Надійшла до редколегії 15.01.2016

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. В.О. Василець, Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО МАРШРУТА В БЕСПРОВОДНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

Ю.Г. Даник, В.В. Воротніков, О.С. Бойченко

В статье предложен метод формирования энергоэффективного маршрута в беспроводных информационно-коммуникационных сетях, который при создании маршрута выбирает среди узлов те, которые имеют наименьшую стоимость соединения. Расчёт стоимости соединения реализован с помощью нелинейной схемы компромиссов, которая объединяет в себе конфликтную природу критериев качества (минимальное расстояние между узлами, максимальная пропускная способность канала связи, максимальная остаточная емкость батареи узла).

Ключевые слова: энергосберегающие протоколы маршрутизации, беспроводные информационно-коммуникационные сети, нелинейная схема компромиссов.

METHOD OF FORMATION OF ENERGY EFFICIENT ROUTE IN WIRELESS INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORKS

Yu.G. Danyk, V.V. Vorotnikov, O.S. Boychenko

The method of formation of energy effective route in wireless information and communication network, which selected the nodes, having the lowest connection cost in the case of route creation was proposed in the paper. Connection cost calculation was realized by means of a nonlinear scheme of compromises, which unites the conflicted nature of quality factors (minimum distance between nodes, maximum channel capacity, maximum residual capacitance of node battery).

Keywords: energy-saving routing protocols, wireless communications network, the nonlinear scheme of compromises.