

МЕТОД ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ

У статті розроблено метод енергоефективної маршрутизації в інформаційно-комунікаційній мережі автоматизованої системи управління військами, у якому за рахунок використання методу багатокритерійної оптимізації за нелінійною схемою компромісів обирається оптимальний маршрут з множини можливих. За критерій оптимальності маршруту використано мінімум вартості з'єднання між відповідними вузлами. Запропоновано розраховувати вартість з'єднання між вузлами за допомогою цільової функції, яка є скалярною згортокою частинних критеріїв: імовірності безвідмовної роботи каналу зв'язку між вузлами, щільності потоку енергії та тривалості існування каналу зв'язку.

Ключові слова: *метод енергоефективної маршрутизації, інформаційно-комунікаційна мережа, автоматизована система управління, оптимальний маршрут.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Однією з характерних особливостей гібридної війни, яка ведеться проти України, є застосування протиборчими сторонами новітніх зразків озброєння та військової техніки, об'єднаних сучасними комплексами та системами управління.

У ході бойових дій на сході України з метою автоматизації процесів збирання, накопичення, обробки та передачі інформації в масштабі реального часу застосовуються автоматизовані системи управління військами (АСУВ). У Збройних Силах України на даний час створені та знаходяться в бойових частинах кілька діючих макетів АСУВ тактичного рівня («Комбат», «Кропива», «Марс», «Вуаль-15» тощо). Особливістю даного класу систем є використання технології безпроводної передачі даних Mobile Ad-Hoc Networks (MANET) [1–3].

У зв'язку з тим, що технологія MANET передбачає застосування мобільних пристроїв з обмеженим енергетичним ресурсом, які можуть функціонувати як ретранслятори, постає важливе науково-практичне завдання щодо використання енергоефективних методів маршрутизації з метою рівномірного розподілу енергетичних ресурсів мережі на передачу інформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завдання формування енергоефективного маршруту в інформаційно-комунікаційній мережі (ІКМ) полягає у виборі того варіанта з множини можливих, який має найменші витрати енергоресурсів вузлів на передачу інформації. Формування маршруту відбувається відповідно до обраних метрик. На даний час існує велика кількість методів маршрутизації, які технічно реалізовані протоколами.

Основною спільною рисою енергозберігаючих протоколів маршрутизації є перерозподіл навантаження серед вузлів ІКМ та переведення не задіяних у передачі інформації вузлів в енергозаощадливий режим [4–7].

© І. А. Пількевич, О. С. Бойченко, 2017

Протокол Power Efficient Dynamic Source Routing Protocol (PEDSR) [4] передбачає як метрику маршруту найвищий рівень потужності сусідніх вузлів. Але при цьому тривалість існування маршруту не враховано. Перебудова маршруту відбувається після того, як потужність вузла стане меншою за деяке наперед задане значення.

Протокол Power Aware Dynamic Source Routing Protocol to Increase Lifetime of Mobile Ad Hoc Networks (PADSR and Survival DSR) [5] за метрику використовує тривалість існування мережі, для збільшення якої застосовують вузли з найбільшим рівнем потужності в області одного або двох переходів.

У роботі [6] авторами запропоновано для зменшення сукупних витрат енергії на передачу інформації використовувати кластеризацію, яка реалізується ієрархічними алгоритмами кластерного аналізу. При застосуванні такого типу протоколів виникає проблема щодо знаходження оптимального маршруту та оцінювання його надійності з урахуванням залишкової ємності акумуляторних батарей пристроїв.

У [7] розглянуто метод формування енергоефективного маршруту в ІКМ, який як метрику маршруту використовує три параметри: відстань між вузлами, залишкову ємність акумуляторної батареї пристрою та пропускну здатність каналів зв'язку. Оптимальним маршрутом відповідно до цього методу є той, для якого вартість з'єднання між вузлами мінімальна. Але метод формування енергоефективного маршруту в ІКМ не враховує впливу залишкових ємностей акумуляторних батарей на надійність каналу зв'язку.

Таким чином, сучасні методи енергоефективної маршрутизації в ІКМ при формуванні маршруту використовують ті вузли, у яких найвища потужність та найбільше значення залишкової ємності акумуляторних батарей пристроїв ІКМ АСУВ. Питанням дослідження впливу залишкової ємності акумуляторних батарей на надійність каналів зв'язку на сьогоднішній день у відкритих джерелах не приділено належної уваги.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є розробка методу енергоефективної маршрутизації в ІКМ АСУВ.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо N -вузлову ІКМ АСУВ. Структуру мережі опишемо графом $G = (V, E)$, де $\{V_0, V_N\}$ – множина вершин та множина елементарних подій $\{\varepsilon_{i,j}\}$, $i, j = 1 \dots N$, де $\varepsilon_{i,j}$ визначає подію, яка свідчить про наявність або відсутність зв'язку між вершинами V_i та V_j через ребро (V_i, V_j) . Імовірність виникнення події $\varepsilon_{i,j}$ дорівнює 1 при існуванні ребра (V_i, V_j) та 0 в іншому випадку.

Вузол мережі – це пристрій, який використовує бездротову технологію передачі даних та має такі параметри:

номінальна ємність акумуляторної батареї пристрою – $E_{ном}$ (Вт·год);

залишкова ємність акумуляторної батареї пристрою – $E_{зал}$ (Вт·год);

пропускну здатність, яку може забезпечити пристрій – M (Мбіт/с);

максимально можливий радіус дії пристрою за умови, що потужність випромінювача має своє максимальне значення – d (м).

Метод енергоефективної маршрутизації ІКМ АСУВ має 4 етапи.

1. Ініціалізація мережі. Відповідно до технології бездротової передачі даних між вузлами встановлюються зв'язки за радіусом дії пристрою.

Після отримання початкової структури (топології) ІКМ формується матриця відстаней між вузлами: $d = [N \times N]$.

2. Розрахунок параметрів каналу зв'язку між вузлами. На даному етапі відповідно до матриці відстаней запропоновано розраховувати параметри каналу зв'язку, які відображають функціональну залежність енергетичних характеристик від структури (топології) мережі.

Імовірність безвідмовної роботи каналу зв'язку між вузлами:

$$P_{kl} = \frac{E_{зал_k} + E_{зал_l}}{E_{ном_k} + E_{ном_l}}, \quad (1)$$

де k, l – номери вузлів.

Щільність потоку енергії (Вт/м²) [7]:

$$S_{k \rightarrow l} = \frac{W_{tr}}{4\pi r_{k \rightarrow l}^2}, \quad (2)$$

де W_{tr} – потужність випромінювання (Вт).

Тривалість існування каналу зв'язку (с) [7]:

$$t_{kl} = \frac{(E_{зал_k} + E_{зал_l}) / 2}{W_{tr}}. \quad (3)$$

Результатом виконання даного етапу є формування матриць імовірностей безвідмовної роботи каналу зв'язку між вузлами, щільностей потоку енергії, тривалості існування каналу зв'язку.

3. Формування маршруту. Задача формування маршруту полягає в знаходженні шляху доставки даних від вузла s до вузла t з мінімальною вартістю з'єднань між вузлами маршруту [7, 8]:

$$\pi_{opt} = \arg \min_{\pi(s,t) \in \Pi(s,t)} C(\pi(s,t)), \quad \text{для } \forall s, t \in V, \quad (4)$$

де $\Pi(s,t)$ – множина маршрутів між s та t ;

$\pi(s,t)$ – маршрут між s та t ;

$C(\pi(s,t))$ – вартість з'єднання між вузлами маршруту $\pi(s,t)$, вираз для розрахунку якої має такий вигляд [7]:

$$C(\pi(s,t)) = \sum_{i=1}^{j-1} Y(V_i, V_{i+1}), \quad \text{для } \forall s, t \in V, \quad (5)$$

де j – кількість вершин, що належать маршруту $\pi(s,t)$;

$Y(V_i, V_{i+1})$ – вартість з'єднання між вузлами V_i та V_{i+1} .

Розрахунок вартості з'єднання між вузлами є багатокритерійною задачею, для розв'язання якої використовується цільова функція, що є скалярною згорткою часткових критеріїв [9–12]:

$$Y(V_k, V_l) = f(\max p_{kl}, \min S_{kl}, \max t_{kl}). \quad (6)$$

З метою вибору оптимального маршруту з множини можливих $\Pi(s, t)$ використано метод багатокритерійної оптимізації за нелінійною схемою компромісів [9–12], який у даному разі набуває такого вигляду:

$$Y(V_k, V_l) = \arg \min \left(\frac{1}{p_{kl}} + \frac{1}{t_{kl}^n} + \frac{1}{1 - S_{kl}^n} \right), \quad (7)$$

де t_{kl}^n – нормоване значення тривалості існування каналу зв'язку;

S_{kl}^n – нормоване значення щільності потоку енергії.

4. Оцінювання маршруту. Оцінювання маршруту проведено за метриками найкоротшого шляху, середньої щільності потоку енергії та середньої тривалості існування маршруту.

Працездатність методу енергоефективної маршрутизації в ІКМ АСУВ проведено на прикладі її зразка, що складається з 10 пристроїв, параметри яких наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри апаратної частини ІКМ АСУВ

№	Назва	d (м)	$E_{ном}$ (Вт·год)
1	Getac X500 Mobile-Server	100	94
2	Getac B300	180	94
3	Getac PS336	100	20
4	Getac F110	100	31
5	Getac PS336	100	20
6	Getac F110	100	31
7	Getac PS336	100	20
8	Getac F110	180	31
9	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	100	59
10	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	100	59

Відповідно до першого етапу методу енергоефективної маршрутизації в ІКМ АСУВ отримано структуру (топологію), зображену на рис. 1.

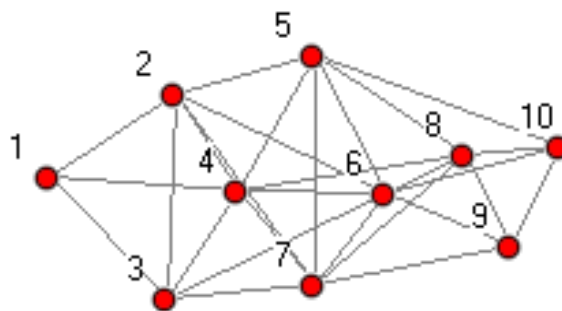


Рис. 1. Початкова структура мережі

Результатом виконання першого етапу є формування матриці відстаней:

$$d[10 \times 10] = \begin{matrix} & 0 & 55 & 62 & 69 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 55 & 0 & 74 & 42 & 53 & 85 & 86 & 0 & 0 \\ & 62 & 74 & 0 & 47 & 0 & 89 & 54 & 0 & 0 \\ & 69 & 42 & 47 & 0 & 56 & 54 & 44 & 84 & 0 \\ & 0 & 53 & 0 & 56 & 0 & 56 & 83 & 66 & 0 \\ & 0 & 85 & 89 & 54 & 56 & 0 & 42 & 32 & 50 \\ & 0 & 86 & 54 & 44 & 83 & 42 & 0 & 72 & 73 \\ & 0 & 0 & 0 & 84 & 66 & 32 & 72 & 0 & 37 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 50 & 73 & 37 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 96 & 66 & 0 & 35 & 40 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 96 & 66 & 0 & 35 & 40 \end{matrix}$$

На другому етапі на момент формування енергоефективного маршруту збирається інформація про значення залишкової ємності акумуляторної батареї пристроїв та формується відповідна таблиця.

Таблиця 2

Залишкова ємність акумуляторних батарей апаратної частини ІКМ АСУВ

№	Назва	$E_{ном}$ (Вт·год)
1	Getac X500 Mobile-Server	68
2	Getac B300	75
3	Getac PS336	18
4	Getac F110	25
5	Getac PS336	17
6	Getac F110	28
7	Getac PS336	15
8	Getac F110	28
9	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	20
10	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	15

Далі відповідно до виразу (1) формується матриця ймовірностей безвідмовної роботи каналу зв'язку між вузлами:

$$p[10 \times 10] = \begin{matrix} & 0,723 & 0,761 & 0,754 & 0,744 & 0,746 & 0,768 & 0,728 & 0,768 & 0,575 & 0,542 \\ & 0,761 & 0,798 & 0,816 & 0,800 & 0,807 & 0,824 & 0,789 & 0,824 & 0,621 & 0,588 \\ & 0,754 & 0,816 & 0,900 & 0,843 & 0,875 & 0,902 & 0,825 & 0,902 & 0,481 & 0,418 \\ & 0,744 & 0,800 & 0,843 & 0,806 & 0,824 & 0,855 & 0,784 & 0,855 & 0,500 & 0,444 \\ & 0,746 & 0,807 & 0,875 & 0,824 & 0,850 & 0,882 & 0,800 & 0,882 & 0,468 & 0,405 \\ & 0,768 & 0,824 & 0,902 & 0,855 & 0,882 & 0,903 & 0,843 & 0,903 & 0,533 & 0,478 \\ & 0,728 & 0,789 & 0,825 & 0,784 & 0,800 & 0,843 & 0,750 & 0,843 & 0,443 & 0,380 \\ & 0,768 & 0,824 & 0,902 & 0,855 & 0,882 & 0,903 & 0,843 & 0,903 & 0,533 & 0,478 \\ & 0,575 & 0,621 & 0,481 & 0,500 & 0,468 & 0,533 & 0,443 & 0,533 & 0,339 & 0,297 \end{matrix}$$

За виразом (2) розраховується матриця значень щільності потоку енергії, яка після нормування матиме такий вигляд:

$$S'' [10 \times 10] = \begin{matrix} 0 & 0,303 & 0,384 & 0,476 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,303 & 0 & 0,548 & 0,176 & 0,281 & 0,723 & 0,740 & 0 & 0 & 0 \\ 0,384 & 0,548 & 0 & 0,221 & 0 & 0,792 & 0,292 & 0 & 0 & 0 \\ 0,476 & 0,176 & 0,221 & 0 & 0,314 & 0,292 & 0,194 & 0,706 & 0 & 0 \\ 0 & 0,281 & 0 & 0,314 & 0 & 0,314 & 0,689 & 0,436 & 0 & 0,922 \\ 0 & 0,723 & 0,792 & 0,292 & 0,314 & 0 & 0,176 & 0,102 & 0,250 & 0,436 \\ 0 & 0,740 & 0,292 & 0,194 & 0,689 & 0,176 & 0 & 0,518 & 0,533 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,706 & 0,436 & 0,102 & 0,518 & 0 & 0,137 & 0,123 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,250 & 0,533 & 0,137 & 0 & 0,160 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,922 & 0,436 & 0 & 0,123 & 0,160 & 0 \end{matrix}$$

Відповідно до виразу (3) розраховано значення матриці тривалості існування каналів зв'язку між вузлами, після нормування яких вона має такий вигляд:

$$t'' [10 \times 10] = \begin{matrix} 0,723 & 0,761 & 0,457 & 0,495 & 0,452 & 0,511 & 0,441 & 0,511 & 0,468 & 0,441 \\ 0,761 & 0,798 & 0,495 & 0,495 & 0,489 & 0,548 & 0,479 & 0,548 & 0,505 & 0,479 \\ 0,457 & 0,495 & 0,191 & 0,229 & 0,186 & 0,245 & 0,176 & 0,245 & 0,202 & 0,176 \\ 0,495 & 0,495 & 0,229 & 0,266 & 0,223 & 0,282 & 0,213 & 0,282 & 0,239 & 0,213 \\ 0,452 & 0,489 & 0,186 & 0,223 & 0,181 & 0,239 & 0,170 & 0,239 & 0,197 & 0,170 \\ 0,511 & 0,548 & 0,245 & 0,282 & 0,239 & 0,298 & 0,229 & 0,298 & 0,255 & 0,229 \\ 0,441 & 0,479 & 0,176 & 0,213 & 0,170 & 0,229 & 0,160 & 0,229 & 0,186 & 0,160 \\ 0,511 & 0,548 & 0,245 & 0,282 & 0,239 & 0,298 & 0,229 & 0,298 & 0,255 & 0,229 \\ 0,468 & 0,505 & 0,202 & 0,239 & 0,197 & 0,255 & 0,186 & 0,255 & 0,213 & 0,186 \\ 0,441 & 0,479 & 0,176 & 0,213 & 0,170 & 0,229 & 0,160 & 0,229 & 0,186 & 0,160 \end{matrix}$$

Згідно з третім етапом визначається вузол-відправник та вузол-адресат – це вузли 1 та 10.

Під час формування маршруту для даних вузлів поетапно формується множина маршрутів. Для вузла 1 визначено сусідні вузли будь-яким відомим методом та створено їх список: 2, 3, 4. Перевірка відповідності вузла-адресата сусідам свідчить про його відсутність, тому далі розраховано вартості з'єднання між вузлами відповідно до (8):

$$Y(V_1, V_2) = \arg \min \left(\frac{1}{p_{12}} + \frac{1}{t''_{12}} + \frac{1}{1 - S''_{12}} \right) = 4,061;$$

$$Y(V_1, V_3) = \arg \min \left(\frac{1}{p_{13}} + \frac{1}{t''_{13}} + \frac{1}{1 - S''_{13}} \right) = 5,138;$$

$$Y(V_1, V_4) = \arg \min \left(\frac{1}{p_{14}} + \frac{1}{t''_{14}} + \frac{1}{1 - S''_{14}} \right) = 5,273.$$

З отриманих значень вартості з'єднання між вузлами обрано канал між вузлами 1 та 2. Оскільки вузол 2 не належить маршруту $\pi(s, t)$, то далі реалізовано пошук сусідів для нього. При цьому маршрут від вузла 1 до вузла 10 становить $\pi(s, t) = \{1, 2\}$.

Для вузла 2 визначено сусідів та проведено розрахунок вартостей з'єднання між ними відповідно до виразу (8):

$$Y(V_2, V_3) = \arg \min \left(\frac{1}{p_{23}} + \frac{1}{t_{23}''} + \frac{1}{1 - S_{23}''} \right) = 5,031;$$

$$Y(V_2, V_4) = \arg \min \left(\frac{1}{p_{24}} + \frac{1}{t_{24}''} + \frac{1}{1 - S_{24}''} \right) = 8,912;$$

$$Y(V_2, V_5) = \arg \min \left(\frac{1}{p_{25}} + \frac{1}{t_{25}''} + \frac{1}{1 - S_{25}''} \right) = 6,755;$$

$$Y(V_2, V_6) = \arg \min \left(\frac{1}{p_{26}} + \frac{1}{t_{26}''} + \frac{1}{1 - S_{26}''} \right) = 4,809;$$

$$Y(V_2, V_7) = \arg \min \left(\frac{1}{p_{27}} + \frac{1}{t_{27}''} + \frac{1}{1 - S_{27}''} \right) = 4,538.$$

З отриманих значень вартості з'єднання між вузлами обрано канал між вузлами 2 та 7. Оскільки вузол 7 не належить маршруту $\pi(s, t)$, то далі реалізовано пошук сусідів для нього. При цьому маршрут від вузла 1 до вузла 10 на даному етапі становить $\pi(s, t) = \{1, 2, 7\}$.

Для вузла 7 визначено сусідів та проведено розрахунок вартостей з'єднання між ними відповідно до виразу (8). Оскільки вузол 2 вже належить маршруту $\pi(s, t)$, то його не було враховано:

$$Y(V_7, V_3) = \arg \min \left(\frac{1}{p_{73}} + \frac{1}{t_{73}''} + \frac{1}{1 - S_{73}''} \right) = 5,850;$$

$$Y(V_7, V_4) = \arg \min \left(\frac{1}{p_{74}} + \frac{1}{t_{74}''} + \frac{1}{1 - S_{74}''} \right) = 7,701;$$

$$Y(V_7, V_5) = \arg \min \left(\frac{1}{p_{75}} + \frac{1}{t_{75}''} + \frac{1}{1 - S_{75}''} \right) = 3,906;$$

$$Y(V_7, V_6) = \arg \min \left(\frac{1}{p_{76}} + \frac{1}{t_{76}''} + \frac{1}{1 - S_{76}''} \right) = 8,123;$$

$$Y(V_7, V_8) = \arg \min \left(\frac{1}{p_{78}} + \frac{1}{t_{78}''} + \frac{1}{1 - S_{78}''} \right) = 4,414;$$

$$Y(V_7, V_9) = \arg \min \left(\frac{1}{p_{79}} + \frac{1}{t_{79}''} + \frac{1}{1 - S_{79}''} \right) = 5,362.$$

З'ясовано, що мінімальною є вартість з'єднання між вузлами 7 та 5. Вузол 5 занесено до маршруту $\pi(s, t) = \{1, 2, 7, 5\}$.

Для вузла 5 визначено його сусідів: 2, 4, 6, 7, 8, 10. Оскільки серед сусідніх вузлів є вузол-адресат, то формування маршруту завершено.

Результатом виконання третього етапу є маршрут $\pi(s, t) = \{1, 2, 7, 5, 10\}$.

Для оцінювання маршруту за допомогою методу Дейкстри знайдено варіант з мінімальною довжиною – $\pi_{Dejkstra}(s, t) = \{1, 4, 8, 10\}$.

Отримані результати для двох маршрутів зведено в таблицю 3.

Таблиця 3

Значення розрахованих метрик маршрутів

№	Назва	L (м)	$t_{\pi(1-10)}$ (год)	$S_{\pi(1-10)}$ (мВт/м ²)
1	Запропонований	320	37,13	0,0145
2	Дейкстри	188	31,5	0,031

Результати моделювання дозволяють зробити висновок, що при застосуванні методу енергоефективної маршрутизації ІКМ АСУВ збільшуються загальна довжина маршруту на 56,25% та середня тривалість існування маршруту на 18%, зменшується середня щільність потоку енергії на 47%.

Висновки. Розроблений метод енергоефективної маршрутизації ІКМ АСУВ за рахунок використання методу багатокритерійної оптимізації за нелінійною схемою компромісів надає можливість зменшити сукупні витрати енергії на передачу інформації та збільшити тривалість існування маршруту. Крім того, завдяки його застосуванню забезпечується необхідний загальний час управління військами (силами) за рахунок оптимального перерозподілу енергоресурсів вузлів без введення додаткових елементів до структури АСУВ.

Подальші наукові дослідження будуть спрямовані на узагальнення існуючих підходів до підвищення ефективності застосування АСУВ та на розробку відповідної методики для систем цього класу за рахунок використання розробленого методу маршрутизації в ІКМ АСУВ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бойченко О. С. Формування основ забезпечення оперативного управління силами та засобами в умовах сучасних військових конфліктів / О. С. Бойченко, Ю. Г. Даник // Наука і оборона. – 2016. – № 1. – С. 4–10.
2. Антонов В. М. Комп'ютерні мережі військового призначення / В. М. Антонов, О. Ю. Пермяков. – К. : „МК-Прес”, 2005. – 320 с.
3. Золотова І. Г. Стан та перспективи розвитку автоматизованих систем управління військами (зброєю) передових країн світу / І. Г. Золотова, М. Ю. Голобородько, О. В. Поривай // Зб. наук. праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Нац. ун-ту оборони України. – К. : ЦВСД НУОУ, 2013. – № 2 (48). – С. 33–36.
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. Singh V. S. Power aware dynamic source routing protocol for increase lifetime of Mobile Ad-Hoc Networks / V. S. Singh, Md. S. Akhter // International journal of innovative research and development. – 2013. – Vol. 2, № 6. – P. 591–599.
6. Воротников В. В. Энергоэффективная иерархическая маршрутизация в самоорганизующихся динамических сетях / В. В. Воротников, Ю. А. Кулаков // УСиМ. – 2014. – № 1. – С. 70–76.
7. Бойченко О. С. Метод формування енергоефективного маршруту в бездротових інформаційно-комунікаційних мережах // О. С. Бойченко, Ю. Г. Даник, В. В. Воротніков // Системи обробки інформації : зб. наук. праць. – Х. : ХУПС, 2016. – Вип. 2 (139). – С. 92–97.
8. Boychenko O. Multicriterion Estimation of Efficiency of Mobile Network Clustering / O. Boychenko, Y. Kulakov, V. Vorotnikov // The Advanced Science Journal. – 2015. – Vol. 1. – P. 61–67.
9. Ковбасюк С. В. Применение методов многокритериального анализа для принятия решений в системах автоматизированного управления / С. В. Ковбасюк, А. А. Писарчук // Проблемы управления и информатики. – 2007. – № 5. – С. 29–41.
10. Воронин А. Н. Нелинейная схема компромиссов в многокритериальных задачах оценивания и оптимизации / А. Н. Воронин // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – № 4. – С. 106–114.
11. Воронин А. Н. Многокритериальное распределение ограниченных ресурсов / А. Н. Воронин // Проблемы управления и информатики. – 2010. – № 4. – С. 143–150.
12. Гришук Р. В. Основи кібернетичної безпеки : Монографія / Р. В. Гришук, Ю. Г. Даник ; за заг. ред. проф. Ю. Г. Даника. – Житомир : ЖНАЕУ, 2016. – 636 с.

Подано 11.10.2017

И. А. Пилькевич, О. С. Бойченко

МЕТОД ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЙСКАМИ

В статье разработан метод энергоэффективной маршрутизации в информационно-коммуникационной сети автоматизированной системы управления войсками, в котором за счёт использования метода многокритериальной оптимизации по нелинейной схеме компромиссов выбирается оптимальный маршрут из множества возможных. В качестве критерия оптимальности маршрута использован минимум стоимости соединения между соответствующими узлами. Предложено рассчитывать стоимость соединения между узлами с помощью целевой функции, которая является скалярной свёрткой частичных критериев: вероятности безотказной работы канала связи между узлами, плотности потока энергии и продолжительности существования канала связи.

Ключевые слова: метод энергоэффективной маршрутизации, информационно-коммуникационная сеть, автоматизированная система управления, оптимальный маршрут.

I. A. Pilkevich, O. S. Boychenko

METHOD OF POWER EFFECTIVE ROUTING IN AN INFORMATION-COMMUNICATION NETWORKS OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF ARMIES

In the article the method of power effective routing in an information-communication network of automatic control system of armies is developed, in which at the expense of use method of the multicriterial optimisation under the nonlinear scheme of compromises the optimum from set of the possible is selected. As criterion of an optimality of a route it is used a minimum of cost of connection between respective nodes of a route. It is suggested to calculate the cost of connection between nodes using the objective function that is the scalar convolution of partial criteria: probability of failure-free operation of the communication channel between nodes, energy flux density and lifetime of communication channel.

Keywords: *method of power effective routing, information-communication network, automatic control system, optimality of a routing.*