

УДК 621.391

А.В. Шишацький¹, Н.Г. Кучук², Є.М. Прокопенко³¹ Центральний НДІ озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ² Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків³ Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

МЕТОДИКА СИНТЕЗУ РАЦІОНАЛЬНОЇ ТОПОЛОГІЇ БЕЗПРОВІДНИХ САМООРГАНІЗУЮЧИХ МЕРЕЖ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

В роботі запропонована методика синтезу раціональної топології безпроводних самоорганізуючих мереж спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму. Зазначена методика дозволяє значно зменшити час прийняття рішення на визначення раціональної топології безпроводних самоорганізуючих мереж та дозволяє враховувати варіанти ведення радіоелектронного подавлення.

Ключові слова: генетичний алгоритм, штучний інтелект, оптимізація, маршрут, самоорганізуючі мережі, маршрутизація.

Вступ

Постановка проблеми. Останнє десятиліття мобільні радіомережі (МР) класу MANET (Mobile Ad-Hoc Networks) стають все більш застосованими, як у повсякденному житті, так і у військовій галузі, а саме, в тактичній ланці управління військами [1-3].

Функціонування мобільних радіомереж (МР) відбувається в умовах динамічної зміни обстановки при веденні бойових дій, яка призводить до:

- виходу з ладу вузлів і каналів зв'язку;
- виникнення помилок в повідомленнях;
- зниження мобільності абонентів;

підвищення впливу випадкового характеру циркулюючих потоків даних.

Забезпечити стійке, безперервне і приховане управління військами в цих умовах неможливо без ефективної системи управління (СУ) МР.

Завдання управління топологією мережі полягає в забезпеченні передачі максимальної кількості повідомлень з необхідною якістю (достовірністю, оперативністю, надійністю та ін.). Топологія визначає потенційні можливості мережі з доставки даних між вузлами, що взаємодіють [2]. Мобільність (відмови, знищення пакетів) вузлів призводить до різних мережевих конфігурацій топології. В таких умовах зміна топології мережі може мати більший ефект, на відміну від використання маршрутизації.

Ефективне функціонування мобільних самоорганізуючих радіомереж (МСМ) залежить від структури її підсистем, а також від відповідності цих структур умовам навколишньої обстановки, насамперед, радіоелектронної обстановки.

Методики синтезу раціональної топології МР, розроблені до теперішнього часу, в основному використовують як вихідні дані обмежену кількість можливих варіантів радіоелектронної обстановки, які ви-

значаються, як правило, на основі суб'єктивних оцінок осіб, що приймають рішення. Дослідження всього простору рішень при визначенні раціональної топології, як правило, ускладнене із-за занадто великого обсягу необхідних розрахунків і неможливості аналітичного описання цільової функції.

В останні роки набувають розвитку методи штучного інтелекту, які дозволяють з достатньою швидкістю знаходити квазіоптимальні рішення у системах, цільові функції яких не мають аналітичного опису. Це робить актуальним проведення досліджень щодо застосування вказаних методів для синтезу раціональних значень топології мережі [1 – 3].

Метою даної статті є розробка методики синтезу раціональної топології безпроводних самоорганізуючих мереж спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму.

Генетичний алгоритм, використання якого запропоноване в статті, дозволяє знайти раціональну топологію мобільних самоорганізуючих мереж з урахуванням варіанту ведення радіоелектронного подавлення противника.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо задачу управління топологією МР як задачу адаптивного управління [4, 5].

Нехай середовище описується такою парою:

$$X(t) = \{A(t), E(t)\},$$

де $A(t)$ – контрольований стан МР (потоки даних, пріоритетність абонентів, їх місце підключення до МР та ін.); $E(t)$ – її неконтрольований стан (перешкода, стан противника). Аналогічно $B(t) = \{Y(t), H(t)\}$, що описує стан МК: $Y(t)$ – її контрольований стан (середній час затримки пакетів в гілках мережі зв'язку, зв'язність МК, ступінь навантаження вузлів комутації та ін.); $H(t)$ – неконтрольований стан (ін-

тенсивність обслуговування пакетів в каналах та вузлах комутації та інш.). В якості основного критерію ефективності МР візьмемо максимум її пропускної здатності $\max S$. Він визначений на контролюємих станах системи та середовища

$$S(t) = S(\Lambda(t), Y(t)).$$

Стан МР $Y(t)$ в свою чергу залежить від згаданих $\Lambda(t)$, $E(t)$, $H(t)$, а також від управління $U(t)$:

$$Y(t) = F(\Lambda(t), E(t), H(t), U(t)),$$

де F – оператор системи, $U(t)$ – вибір вирішального методу (методики) управління радіоресурсом, топологією, маршрутизацією, навантаженням, безпекою, та якістю обслуговуванням МР $\bar{Y}(t) = \Phi(\bar{Y}(t))$, стан середовища $\Lambda(t)$ та цілей $Z^*(t)$

$$U(t) = U(\Lambda(t), \bar{Y}(t), Z^*(t)).$$

Для ефективного використання ресурсів мережі в вузлах необхідно передбачити можливість використання безлічі МД. Застосування конкретного методу доступу буде визначатися параметрами інформаційного навантаження, поточною метою управління мережею, ситуацією на мережі (її зоні) і прийнятими рішеннями на інших рівнях еталонної моделі [4, 5].

Вважаємо, що мета ведення радіоелектронного подавлення противника відома, відповідно, з використанням, наприклад, методик [6 – 11] визначений перелік вузлів МР, що підлягають радіоелектронному подавленню та визначені їх пріоритети, тобто деяка числова характеристика важливості того чи іншого вузла МР у досягненні мети радіоелектронного конфлікту противником.

Генетичний алгоритм [12] заснований на ідеї еволюції за допомогою природного відбору та являє собою штучну імітацію таких властивостей живої природи, як природний відбір, пристосованість до змінюваних умов середовища, спадкоємність нащадками властивостей батьків і т.ін.

Методика синтезу раціональної топології безпроводних самоорганізуючих мереж спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму, алгоритм реалізації якої подано на рис. 1 складається з наступної послідовності дій.

Введення вихідних даних (дія 1 на рис. 1)

На даному етапі вводяться вихідні параметри мережі, кількість вузлів мережі, швидкість передачі інформації та початкова радіоелектронна обстановка.

Сутність генетичного пошуку полягає в циклічній заміні однієї популяції наступною, більш пристосованою. Можна вважати, що вся популяція складається в часі з дискретних поколінь $\Omega^{(0)}, \Omega^{(1)}, \Omega^{(2)}, \dots, \Omega^{(T)}$. Покоління $\Omega^{(t+1)}$ – це сукупність особин, батьки яких належать поколінню $\Omega^{(t)}$. Покоління $\Omega^{(0)}$ є початковою по-

пуляцією. Процес формування покоління $\Omega^{(0)}$ називається *ініціалізацією*. Кожне наступне покоління є результатом циклу роботи генетичного алгоритму.

Для кожної особини поточного покоління визначається значення цільової функції, яке характеризує пристосованість особини. У ході *відбору (селекції)* найменш пристосовані особини гинуть, а найбільш пристосовані дістають можливість відтворити нащадків у ході попарного *схрещування*. Це приводить до появи нових особин, які наслідують від батьків деякі властивості. Таким чином, з покоління в покоління, гарні властивості розповсюджуються по всій популяції. Для підвищення різноманітності пошуку і більш повного дослідження простору пошуку застосовується *мутація* – введення в популяцію нових особин. Зрештою, популяція збігатиметься до найбільш пристосованої особини (до оптимального рішення).

Для використання властивостей особин популяції у генетичному алгоритмі ці властивості подаються в закодованому вигляді – у вигляді *хромосоми*. Хромосома являє собою сукупність *генів*, кожний з яких зберігає певну властивість (ознаку, характеристику) особини. В залежності від того, які властивості необхідно закодувати і, відповідно, які значення можуть приймати гени, розрізняють бінарні, числові та векторні хромосоми, а в залежності від структури простору пошуку хромосоми можуть бути одно-, дво- або багатомірними. Таким чином, генетичні оператори (схрещування, мутації, відбору) здійснюють перетворення хромосом без використання інформації про внутрішню структуру об'єкта досліджень.

Представлення топології мережі у вигляді хромосоми (дія 1 на рис. 1)

При застосуванні генетичного алгоритму для синтезу раціональної топології безпроводних самоорганізуючих мереж необхідно представити цю топологію у вигляді хромосоми, яка по суті являє собою математичну модель МР з відображенням її елементів та суттєвих зв'язків між ними.

Відомо [3], що достатньо адекватною для вирішення задачі дослідження топології МР є математична модель, яка зображується у вигляді матриці інцидентності, у якій номери рядків відповідають номерам джерел інформації, а номери стовпців – номерам споживачів інформації. Елементи a_{ij} на перетині рядків та стовпців набувають значення характеристики інформаційного зв'язку, що з'єднує відповідне джерело інформації з відповідним споживачем:

$$S = \begin{pmatrix} \text{джерела інформації} & \begin{matrix} \text{споживачі інформації} \\ 1 & 2 & 3 & \dots & J \end{matrix} \\ 1 & a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1J} \\ 2 & a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2J} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ I & a_{I1} & a_{I2} & a_{I3} & \dots & a_{IJ} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

(зауважимо, що одні і ті ж вузли можуть бути і джерелами, і споживачами інформації).

При числових розрахунках також виникає необхідність використання різновиду матриці інцидентності – ортонормованої матриці інцидентності, в якій значення елементів можуть набувати значення 0 або 1. Така матриця може бути використана у тому випадку, якщо для дослідження є необхідність визначити наявність інформаційних зв'язків між відповідними елементами структури системи без визначення характеристики зв'язку.

Нескладно побачити аналогію між відображенням топології мережі у матрицю виду (3) та відображенням точки простору рішень у двовірну хромосому, що має місце у генетичному алгоритмі. Ортонормована матриця інцидентності (3) є двовірною хромосомою і може використовуватись для представлення топології МР в генетичному алгоритмі.

Розвиваючи наведену вище аналогію, назвемо елементи матриці (3) генами, а декілька реалізацій матриці (3) з різними значеннями елементів (генів) – сукупністю хромосом, або популяцією. Зауважимо, що в загальному випадку структура хромосоми може бути і іншою. Це буде визначатись змістом задачі, що вирішується.

При визначенні числового значення характеристики зв'язків між елементами структури необхідно використовувати числові хромосоми, якщо ж визначається значення декількох характеристик зв'язку, необхідно використовувати векторну хромосому. Пояснимо роботу окремих складових методики докладніше.

Ініціалізація початкової популяції (дія 2 на рис. 2)

При ініціалізації початкової популяції $\Omega^{b(0)}$ випадковим чином створюються N_b хромосом – матриць виду (3). При цьому необхідно враховувати обмеження на вигляд матриць (3), що будуть визначатись характером задачі, що вирішується. Також обмеження на вигляд хромосоми повинні враховуватись при застосуванні оператора мутації, який полягає в заміні одного або декількох генів хромосоми, вибраної випадковим чином з множини $\Omega^{b(t)}$, на протилежне значення, що стосовно досліджуваної топології мережі означає створення або ж видалення зв'язків між її елементами.

В результаті у кожному циклі генетичного алгоритму формується популяція хромосом-мутантів $\Omega^{m(t)}$:

елементи стовбців – нулі;

інформація передається тільки на один вузол МР – це означає, що у відповідних рядках матриці може бути тільки одна одиниця, інші елементи рядків – нулі;

вузол МР може отримувати і обробляти дані не більше ніж від $N_{\text{ретр max}}$ вузлів-ретрансляторів МР та

передати інформацію не більше ніж $N_{\text{Взmax}}$ вузлам отримувачам.

Застосування операторів схрещування та мутації (дія 3 на рис. 1)

При схрещуванні хромосоми поточної популяції $\Omega^{b(t)}$ випадковим чином розбиваються на пари. Оператор схрещування здійснює обмін генів хромосом кожної пари. В результаті формується популяція хромосом-нащадків $\Omega^{c(t)}$ чисельністю N_c . Схрещування потрібно виконувати з урахуванням обмежень на вигляд матриці (3), щоб в результаті не отримати хромосоми, відповідні яким структури створити неможливо. В прикладі, наведеному нижче (рис. 2), застосований блочний оператор схрещування для двовірних хромосом. При схрещуванні хромосоми здійснюють обмін генами, розташованими на ділянці, положення якої визначається випадковим чином з врахуванням наведених вище обмежень.

Розпізнавання варіанту дій станції РЕП та оцінка ефективності (дія 5 на рис. 1)

Розпізнавання варіанту дій станції РЕП та оцінка ефективності при варіанті топології $S \in \Omega^{S(t)}$, де $\Omega^{S(t)} = \Omega^{b(t)} \cup \Omega^{c(t)} \cup \Omega^{m(t)}$, здійснюється з використанням мультиагентного алгоритму, запропонованого в [10, 11]. На кожному t -му циклі роботи генетичного алгоритму для кожної хромосоми S множини $\Omega^{S(t)}$ розпізнається варіант дій станції РЕП та оцінюється його ефективність. Наступним кроком циклу генетичного алгоритму є *вибір* кращих N_b хромосом з популяції $\Omega^{S(t)}$ за значенням цільової функції (1). Отримані хромосоми утворюють нову популяцію $\Omega^{b(t+1)}$, яка являється початковою для наступного циклу генетичного алгоритму.

Після виконання T циклів робота генетичного алгоритму припиняється.

Після проведення дії 9 на рис. 1 відбувається настроювання топології мережі наступним чином. Оцінювання топології мережі здійснюється на основі нечіткого логічного висновку відповідно до визначеної бази знань [12, 13]:

ЯКЩО $(x_1 = a_{1,j_1}) \text{ I } (x_2 = a_{2,j_1}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_{n,j_1})$

з вагою w_{j_1} , АБО $(x_1 = a_{1,j_2}) \text{ I } (x_2 = a_{2,j_2}) \text{ I } \dots \text{ I}$

$(x_n = a_{n,j_2})$ з вагою w_{j_2} , АБО $(x_1 = a_{1,j_k})$

$\text{I } (x_2 = a_{2,j_k}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_{n,j_k})$ з вагою w_{j_k} ,

ТО $y = d_j, j = \overline{1, m}$,

де a_{i,j_p} – нечіткий терм, яким оцінюється змінна x_i

в рядку з номером j_p ($p = \overline{1, k_j}$), тобто

$a_{i,j_p} = \int \mu_{j_p}(x_i) / x_i$; k_j – кількість рядків-кон'юнкцій,

в яких вихід y оцінюється значенням d_j ;

$w_{j_p} \in [9, 1]$ – ваговий коефіцієнт правила з номером j_p .

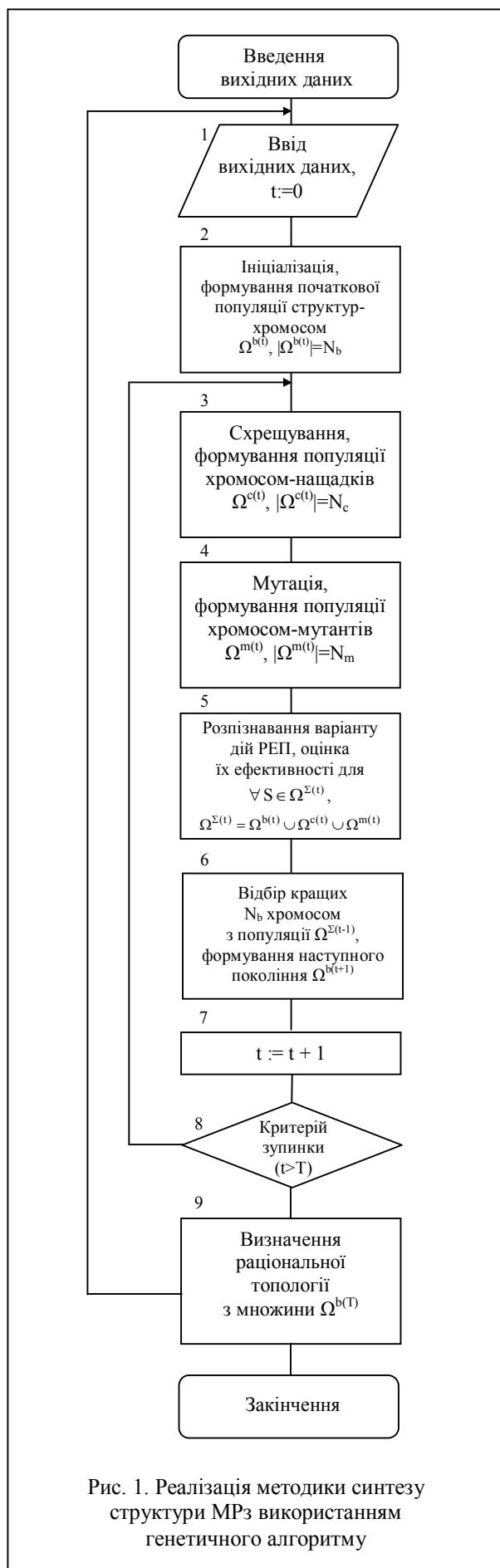


Рис. 1. Реалізація методики синтезу структури МРз використанням генетичного алгоритму

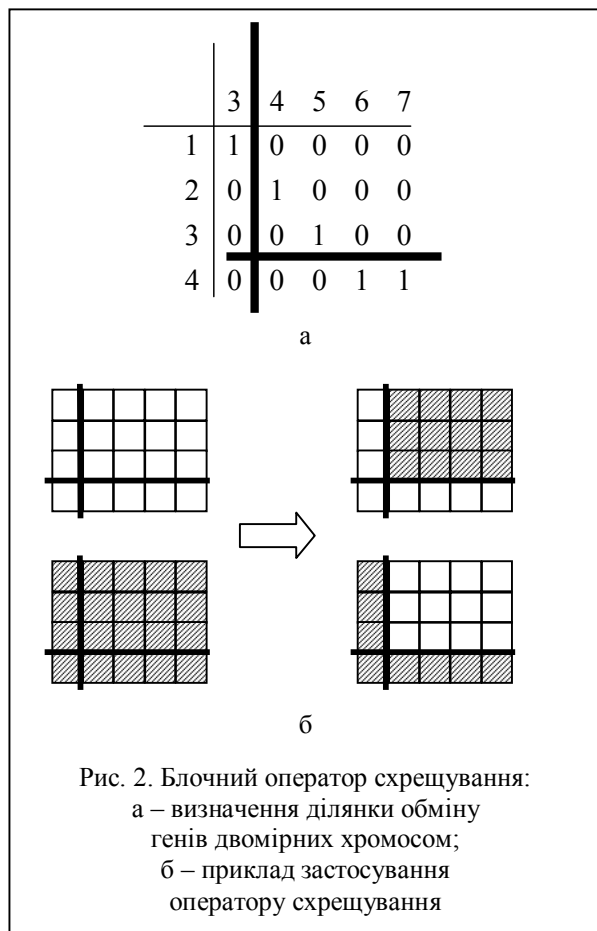


Рис. 2. Блочний оператор схрещування: а – визначення ділянки обміну генів двовірних хромосом; б – приклад застосування оператора схрещування

Проведення навчання системи

Функції відповідності класам d_j об'єкту $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ розраховуються так [12, 13]:

$$\mu_{d_j}(X^*) = \bigvee_{p=1, k_j} w_{jp} \cdot \bigwedge_{i=1, n} (\mu_{jp}(x_i^*)), j = \overline{1, m},$$

де $\mu_{jp}(x_i^*)$ – функція відповідності входу x_i^* нечіткому терму $a_{i,jp}$; $\bigwedge(\bigvee)$ – s-норма (t-норма), якій в задачах класифікації зазвичай відповідають максимум (мінімум).

В якості рішення вибрано клас з максимальною функцією відповідності розрахованого рішення $d_1 \dots d_m$ [12]:

$$y^* = \arg \max_{\{d_1, d_2, \dots, d_m\}} (\mu_{d_1}(X^*), \mu_{d_2}(X^*), \dots, \mu_{d_m}(X^*)).$$

Таким чином, буде виконана адаптація чи настроювання топології МР в умовах невизначеності [12, 13].

Аналіз значень цільової функції (1) для отриманої множини хромосом $\Omega^{(T)}$ дозволяє визначити одну чи декілька раціональних топологій мобільних самоорганізуючих мереж.

Висновки

Таким чином, у статті запропонована методика синтезу раціональної топології безпроводних самоорганізуючих мереж спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму. Структура мережі представляється у вигляді двомірної матриці інцидентності. Ця матриця використовується як хромосома операторами генетичного алгоритму. Елементи матриці інцидентності, що описують зв'язки між елементами самоорганізуючої мережі, у генетичному алгоритмі являються генами. В кожному циклі генетичного алгоритму здійснюється попарне схрещування хромосом, в ході якого здійснюється обмін частини генів, що для досліджуваної мережі означає появу та зникнення відповідних зв'язків між елементами.

Розрахунок значень цільової функції (ступеню радіоелектронного подавлення) пропонується здійснювати з використанням мультиагентного алгоритму, при цьому для кожної хромосоми поточної популяції спочатку розпізнається варіант дій радіоелектронного подавлення.

Подальші дослідження будуть направлені на розробку удосконаленої методики управління конфігурацією мобільних самоорганізуючих мереж з урахуванням ступеню радіоелектронного подавлення.

Список літератури

1. Шишацький А.В. Розвиток інтегрованих систем зв'язку та передачі даних для потреб Збройних Сил / А.В. Шишацький, О.М. Башкиров, О.М. Костина // *Озброєння та військова техніка: науково-техн. журнал*. – К.: ЦНДІ ОБТ ЗС України, 2015. – № 1 (5). – С. 35–40.
2. Романюк В.А. Направления развития тактических сетей связи / В.А. Романюк // *Зв'язок*. – 2001. – № 3. – С. 63–65.
3. Кувшинов О.В. Методология оперативного управления радиоресурсом военных систем радиозв'язку / О.В. Кувшинов // *V-та науково-технічна конференція*

„Приоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення” 20-21 жовтня 2010 року, доповіді та тези доповідей. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2010. – С. 23–28.

4. Романюк В.А. Цільові функції оперативного управління тактичними радіомережами / В.А. Романюк // *Збірник наукових праць ВІТІ*. – Київ: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2012. – № 1. – С. 109–117.

5. Романюк В.А. Архітектура системи оперативного управління тактичними радіомережами / В.А. Романюк // *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. – Київ: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2009. – № 3. – С. 70–76.

6. Zheng R. Asynchronous Wakeup for Ad Hoc Networks / R. Zheng, J.C. Hou, L. Sha // *Proceedings of ACM Mobicom*. – 2003.

7. Karp B. Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks / B. Karp and H. T.Kung // *Proceedings of the Sixth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom)*. – 2000.

8. Kranakis E. Compass Routing on Geometric Networks / E. Kranakis, H. Singh, J. Urrutia // *Proceedings of the 11th Canadian Conference on Computational Geometry*. – 1999.

9. Bose P. Routing with Guaranteed Delivery in Ad Hoc Wireless Networks / P. Bose, P. Morin, I. Stojmenovic, J. Urrutia // *Wireless Networks*. – 2001. – Vol. 7. – P. 5–7.

10. Geometric Ad-Hoc Routing: Of Theory and Practice / F. Kuhn, R. Wattenhofer, Y. Zhong, A. Zollinger // *Proceedings of ACM PODC*. – 2003.

11. Douglas S. Location proxies and intermediate node forwarding for practical geographic forwarding / S. Douglas, D. Couto, R. Morris // *MIT Laboratory for Computer Science MIT-LCSTR-824*. – 2001.

12. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечёткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А.П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ, 1999. – 320 с.

13. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара; пер. с англ. И.Ф. Шахнова. – М.: Мир, 1973. – 344 с.

Надійшла до редколегії 2.11.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Кувшинов, Управління нормативно-методичного забезпечення та моніторингу володіння, використання та розпорядження нерухомого майна і земель, Київ.

МЕТОДИКА СИНТЕЗА РАЦИОНАЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ БЕСПРОВОДНЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЕЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

А.В. Шишацкий, Н.Г. Кучук, Е.Н. Прокопенко

В работе предложена методика синтеза рациональной топологии беспроводных самоорганизующихся сетей специального назначения с использованием генетического алгоритма. Указанная методика позволяет значительно уменьшить время принятия решения на определение рациональной топологии беспроводных самоорганизующихся сетей и позволяет учитывать варианты ведения радиоэлектронного подавления.

Ключевые слова: генетический алгоритм, искусственный интеллект, оптимизация, маршрут, самоорганизующиеся сети, маршрутизация.

THE METHOD OF SYNTHESIS OF RATIONAL TOPOLOGY OF WIRELESS SELF-ORGANIZING NETWORKS OF SPECIAL PURPOSE WITH USING THE GENETIC ALGORITHM

A.V. Shishatsky, N.H. Kuchuk, Ye.M. Prokopenko

In this paper, we propose a technique for synthesizing the rational topology of wireless self-organizing networks of a special purpose using a genetic algorithm. This technique allows to significantly reduce the decision time for determining the rational topology of wireless self-organizing networks and allows to take into account the variants of conducting electronic suppression.

Keywords: genetic algorithm, artificial intelligence, optimization, route, self-organizing networks, routing.