

В.В. Сальник, С.В. Сальник, Т.С. Стрела, В.П. Олексенко

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ*

## МЕТОД ПІДТРИМКИ МАРШРУТІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В МОБІЛЬНИХ РАДІОМЕРЕЖАХ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

*В останні десятиліття мобільні радіомережі стають все більш вживаними, як у повсякденному житті, так і у військовій галузі, особливо в тактичній ланці управління військами. Одним з найважливіших питань, яке необхідно вирішити в процесі їх проектування, є підтримка маршрутів передачі даних. Створення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень в автоматизованих системах управління зв'язком необхідно для: ефективного управління мережею військового призначення, оперативного управління, контролю та обліку даних. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень направлена на виконання завдань відновлення мережі військового призначення за умов скорочення часу та ресурсів, які витрачаються в процесі функціонування.*

*Тому в статті запропоновано удосконалений метод підтримки маршрутів передачі даних на основі нечіткої логіки в мобільних радіомережах військового призначення, суть якого полягає в застосуванні нечіткої логіки та генетичного нейронного алгоритму. В даному методі запропоновано підхід, який передбачає п'ять основних етапів функціонування підтримки маршрутів передачі даних в мобільній радіомережі на основі вибору головного вузла кластера з можливістю навчання, що дозволяє зменшити завантаження каналів мережі за рахунок контролю та розподілу залишкової ємності батареї, в наслідок чого може бути прийняте управлінське рішення з побудови маршрутів передачі даних та збільшення часу функціонування мобільної радіомережі.*

**Ключові слова:** маршрутизація система підтримки прийняття рішень, мобільна радіомережа.

Останнім часом спостерігається динамічний розвиток та поширення мобільних радіомереж (МР), які стають більш вживаними у повсякденному житті та у військовій галузі, особливо в тактичній ланці управління військами [1]. Основними особливостями побудови та застосування мережами військового призначення (МВП) є: мобільність усіх вузлів; динамічна топологія; децентралізоване управління МВП; спільний доступ вузлів до середовища передачі даних; масштабованість; необхідність збору значної кількості інформації про стан мережі на різних рівнях мережевої моделі OSI. Основною відмінністю МВП від класичних радіомереж є відсутність фіксованої мережевої інфраструктури та, як наслідок, фіксованих маршрутів передачі інформації, що потребує використання нових підходів до управління МВП та системам, які забезпечують її функціонування. Однією з основних систем МВП є система підтримки прийняття рішень (СППР), яка забезпечує вирішення завдань щодо підтримки маршрутів в МВП з динамічною топологією [1].

Досвід застосування МВП вказує на те, що з метою недопущення переповнення черг; збільшення навантаження пропускнуої спроможності та навантаження на вузол; побудові неоптимальних маршрутів передачі даних; погіршення якості обслуговування вузлів тощо, доцільно використовувати інтелектуалізацію процесів управління у складі вузлової СППР [2]. Аналіз публікацій вказує на те, що при

побудові СППР головне місце займає обробка знань про стан вузлів мережі та МР в цілому. В свою чергу, рішення подібного завдання у [3] покладається на модель зі штучним інтелектом.

Управлінські рішення, що приймаються інтелектуальною СППР, базуються на аналізі та оцінці множини різномірних параметрів функціонування мережі. Крім того, через зміну умов функціонування МВП, динамічність та наявність нечіткої мережевої активності виникає ситуація з отриманням швидко старіючих, нечітких вхідних даних, які не дозволяють побудувати чітку модель функціонування МВП. З вказаного виходить те, що в основі СППР в МВП повинна бути нечітка логіка (НЛ) та знання про об'єкти управління, де в якості об'єктів знаходиться, в МВП.

На підставі вказаного, метою статті, є удосконалення методу підтримки прийняття рішень з підтримки маршрутів на основі апарата НЛ, що є актуальним на даному етапі розвитку МР.

**Об'єктом** розгляду статті є процес підтримки прийняття рішень щодо підтримки маршрутів передачі даних в МВП.

**Предметом дослідження** є метод підтримки маршрутів передачі даних в МВП.

**Аналіз публікацій.** Через динамічну топологію МВП, її СУ відноситься до складних розподілених систем, які характеризуються слабкою залежністю вхідних та вихідних змінних. В даному випадку для

вирішення питань щодо: переповнення черг; відстеження залишкової ємності вузлових батарей; збільшення навантаження пропускної спроможності у вузлі; побудови неоптимальних маршрутів передачі даних; погіршення якості обслуговування вузлів тощо, можуть бути застосовані інтелектуальні методи, які дозволяють відобразити нечіткість в управлінні МВП.

Функціонування СППР ґрунтується на збиранні та переробці інформації що надходить з вузлів мережі, на основі яких будуть прийматися управлінські рішення. Ці знання являють собою інформацію щодо функціонування інформаційної, програмної та апаратної складової МР на рівнях мережевої моделі OSI та множини правил щодо використання даної інформації.

Виходячи з вказаного, з метою ефективного функціонування СППР в МР доцільно застосовувати інтелектуалізацію процесу підтримки та прийняття рішень, в основі якої знаходиться НЛ з здатністю до самоорганізації та навчання.

Таким чином, нечітке функціонування СППР передбачає опис причинно-наслідкових зв'язків між вхідними та вихідними змінними, які характеризують залежність на кожному з рівнів моделі OSI. Процес функціонування в даному випадку описується лінгвістичними змінними, які оцінюються якісними термами [4].

Виходячи з аналізу методів підтримки прийняття рішень, у [5] було запропоновано метод підтримки маршрутів, в основі якого покладено генетичний нейронний алгоритм. В процесі роботи даного алгоритму відбувається прийняття рішень з побудови маршрутів мережі, яке формується на основі вхідних параметрів даних. Даний алгоритм дозволяє: самоконфігурувати систему; отримувати інформацію про стан мережі; змінювати інформацію про маршрутизацію; отримувати альтернативні шляхи, у випадку відмови зв'язку або відмови вузла; сприяти покращенню маршрутизації на мережевому рівні, зменшуючи розмір таблиць маршрутизації та витрати на передачу.

Маршрутизація в мережі являє собою процес вибору шляхів у мережі для надсилання мережевого трафіка. Тому є необхідність розробки нового протоколу маршрутизації, який легко адаптується до зміни топології мережі. У мережах з динамічною топологією, розташовані близько один до одного, згруповані в непересічні підмережі, так звані кластери. Кожен кластер має провідний вузол, який називається головним вузлом кластера (ГВК), що відповідає за координацію передачі та маршрутизації зібраних даних в своєму кластері та членів кластера.

Об'єднання в кластери підвищує живучість мережі, коли членам кластера необхідне з'єднання з іншим вузлом, маршрут забезпечується ГВК. Тому

рішення базується на евристичних підходах. Кластерна схема повинна максимально зберігати свою структуру, коли вузли динамічні. В іншому випадку, перекомпіляція ГВК та частого обміну інформацією між вузлами, що беруть участь, призведуть до високих обчислень.

Однак даний метод не враховує особливостей функціонування МР військового призначення, а саме: масштабованість та неповноту даних. В наслідок чого для врахування особливостей функціонування МР в умовах нечітких та неповних даних щодо стану МР та застосуванні генетичного нейронного алгоритму, необхідно використовувати апарат нечіткої логіки (НЛ) для підтримки маршрутів передачі даних в мережі [6].

Вирішенню питань побудови маршрутів передачі даних, що побудовані за допомогою нейро-нечітких мереж, присвячені роботи: А. Шарма, Д.О. Хебба, А.К. Джейна, В. Мак-Каллохома та інших. Однак, більшість робіт не враховують особливостей [8; 14] функціонування в МР військового призначення. У зв'язку з цим у даній статті пропонується удосконалення методу підтримки маршрутів передачі даних в МВП при застосуванні нечіткої логіки.

Нечітка логіка (НЛ) являє собою механізм мислення, який повинен бути строго формалізованим. В свою чергу, НЛ серед усіх відомих засобів моделювання базується на нечітких множинах та дозволяє здійснювати математичну формалізацію логіко-лінгвістичної інформації, яка застосовується при опису складних нелінійних об'єктів. Як правило, моделювання таких об'єктів зводиться до побудови нечітких БЗ, які втілюють в собі експертні знання про об'єкт у вигляді лінгвістичних висловлювань ЯКЦО-ТО, що відносять до переваг [7].

Інструментом реалізації методу підтримки маршрутів є нейронна мережа та НЛ. Нейронна мережа на даному етапі розвитку СППР вважається найбільш перспективним апаратом для побудови системи підтримки прийняття рішень та систем управління мережею. НМ являє собою систему з'єднаних та взаємодіючих між собою штучних нейронів. При з'єднанні нейронів у велику мережу з управляючою взаємодією виникає здатність виконувати складні завдання, проводити навчання, виявляти залежності між вхідними параметрами даних.

**Обмеження та допущення:** Множиною вимог до методів підтримки маршрутів в умовах децентралізованого управління є: мінімальна завантаженість мережі службовою інформацією; можливість взаємодії з різними рівнями моделі OSI. Радіозв'язок між вузлами мережі підтримується протоколами каналного рівня; потужність сигналу на прийомі та співвідношення сигнал та шум вважаємо незмінними. Розглядається процес функціонування вузла в режимі реального часу, в складі якого є СППР.

Час існування діючого маршруту  $T_m(t)$  буде визначатися мінімальним часом життя  $i$ -го вузла  $T_i(t)$  на маршруті  $m$ :

$$T_m(t) = \min(T_1(t), T_2(t), \dots, T_i(t)), i = \overline{1, k}. \quad (1)$$

Час працездатності  $i$ -го вузла  $T_i(t)$ :

$$T_i(t) = \frac{E_{3i}(t)}{\sum_{j=1}^J R_j(t)}, j = \overline{1, J}, \quad (2)$$

де  $E_{3i}(t)$  – залишкова ємність батареї  $i$ -го вузла після відправки даних або ретрансляції деякого  $j$ -го пакету;  $R_j(t)$  – коефіцієнт витрати енергії  $i$ -м вузлом при передачі  $j$ -го пакету, який обчислюється з виразу [2]:

$$R_j(t) = \frac{E_{3j-1}(t) - E_{3j}(t)}{t_j - t_{j-1}}, \quad (3)$$

де  $E_{3j-1}(t)$  та  $E_{3j}(t)$  – залишкові ємності батареї  $i$ -го вузла перед відправкою відповідно  $j-1$  та  $j$ -го пакетів;  $t_j$  та  $t_{j-1}$  – відповідно часи прибуття  $j-1$  та  $j$ -го пакетів на  $i$ -й вузол.

**Вихідні дані:** Множина вхідних параметрів МР для вирішення задачі підтримання маршрутів на напрямку  $a - b$ :  $x_1$  – тип трафіка,  $x_2$  – об'єм інформації,  $x_3$  – кількість адресатів,  $x_4$  – залишкова ємність батареї,  $x_5$  – розмір черг в проміжних вузлах,  $x_6$  – завантаження каналів зв'язку.

**Необхідно:** удосконалити метод підтримки маршрутів передачі даних в МР військового призначення, якій ґрунтується на комплексному використанні НЛ та апарату НМ шляхом вибору типу маршрутів, кількості маршрутів та способу контролю, з метою забезпечення мінімізації службового трафіка на інформаційному напрямку ( $V^{a-b}$ ). Управляючий вплив розробленого методу  $U_M^{a-b}$  повинен відповідати вимогам вузлової оптимізації (4):

$$U_M^{a-b}(t) = \arg \operatorname{opt}_{U_M(t) \in \Omega} C^{a-b}(X^{a-b}, U_M^{a-b}(t)), \quad (4)$$

$$X(t) = \left\{ \begin{array}{l} E_{3i}^{a-b}(t), \Gamma_i^{\xi a-b}(t), \omega^{a-b}(t), \\ T_m(t), T_i(t), S^{a-b}(t) \end{array} \right\} \quad (5)$$

та виконанні обмежень на ресурс і вимог до якості обслуговування  $\xi$ -го типу трафіка, де  $X^{a-b} = \{x_i(t)\}, i = \overline{1, I}$  – параметри стану маршруту, та вузлів;  $S^{a-b}$  – пропускна спроможність інформаційного напрямку;  $t$  – середній час затримки передачі пакетів;  $\omega^{a-b}(t)$  – інтенсивність зміни топології на напрямку  $a - b$ ;  $\Gamma_i^{\xi a-b}(t)$  – вхідне навантаження

на  $\xi$ ;  $E_{3i}^{a-b}(t)$  – залишкова ємність батареї  $i$ -го вузла;  $T_m(t)$  – час існування діючого маршруту;  $T_i(t)$  – стан  $i$ -го вузла. Зазначені параметри можуть бути отримані шляхом взаємодії на різних рівнях моделі OSI.

Суть розробки методу полягає в удосконаленні існуючого методу [5] з метою підтримки маршрутів передачі даних, забезпечення заданої якості обслуговування трафіка при різних умовах функціонування МР. Тому підходом для обслуговування МР є розділення мережі на кластери. Кластеризація має декілька переваг для рівня доступу до середовища та мережевого рівня в МР з динамічною топологією. Реалізація схем кластеризації дозволяє краще виконувати протоколи для рівня контролю доступу до середовища шляхом поліпшення просторового повторного використання, пропускної спроможності, масштабованості та енергоспоживання. Метою алгоритму кластеризації є створення та підтримка підключеного вузла кластера. У більшості кластерних технологій вузли вибираються для відтворення різних ролей відповідно до певних критеріїв [9].

На сьогоднішній день в кластерах існують наступні типи вузлів:

1) Звичайні вузли – являються членами кластера, який не має сусідів, що належать до іншого кластеру [5].

2) Шлюзові вузли – які розташовані на периферії кластера, вони здатні слухати передачі з іншого вузла, який знаходиться в іншому кластері [5]. Для цього вузол шлюзу повинен мати принаймні одного сусіда з іншого кластера [5].

3) Головний вузловий кластер (ГВК) – відповідає за координацію передачі та маршрутизації зібраних даних в своєму кластері, таким чином утворюються кластери із ГВК що оброблюють і передають дані на базову станцію

Кластери з'єднуються між собою безпосередньо через вузли шлюзу. Об'єднання вузлів шлюзу та ГВК утворює з'єднану магістраль. Основним завданням ГВК є розрахунок маршрутів для міжкластерних повідомлень та пересилання міжкластерних пакетів. Пакет з будь-якого джерела вузла спочатку спрямовується в ГВК. Якщо адресат розташовано в тому ж кластері, то кластер переміщує пакет до кінцевого вузла. Якщо цільовий вузол розташований в іншому кластері, головний кластер відправного вузла спрямовує пакет всередині підструктури мережі до головного кластера цільового вузла. Тоді ГВК перенаправляє пакет до кінцевої точки [10–11]. На рис. 1 показаний приклад конфігурації кластера в МР.

Таким чином, на мережу та вузли покладається вибір необхідної кількості ГВК, які забезпечують високу пропускну спроможність з низькою затрим-

кою. Розподілена система, в якій всі вузли мають однакову відповідальність і діють як ГВК, призводить до збільшення енергоспоживання та більшої обробки інформації на одному вузлі. Але з метою максимального використання ресурсу необхідно обрати мінімальну кількість ГВК для охоплення всієї мережі. Вся область взаємодії вузлів може бути розділена на зони, розмір яких визначений діапазоном передачі вузлів. Це може покласти нижню межу на кількість потрібних ГВК.

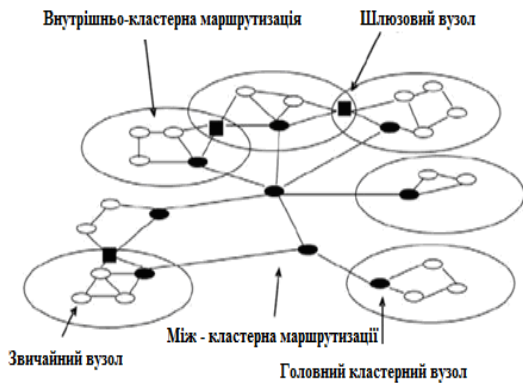


Рис. 1. Приклад конфігурації кластера в МР

Після розподілення на кластери, наступним етапом є вибір ГВК серед вузлів-учасників. В наслідок чого для збалансування споживання енергії на ГВК пропонується удосконалити метод підтримки маршрутів передачі даних.

**Удосконалений метод підтримки маршрутів передачі даних в мережі.**

Запропонований підхід передбачає п'ять основних етапів функціонування.

На **першому етапі** відбувається розміщення вузлів. Передбачається, що  $X$  вузлів розподілені випадковим чином на площині для побудов МР,  $i$ -й вузол позначається  $x_i$ , відповідно, безліч вузлів  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ .

**Другий етап** призначений для зв'язку між вузлами, формалізації кластерів та виборі ГВК на основі НЛ що приймається за допомогою алгоритмів *LEACH* та *PEGASIS* [12]. ГВК вибираються серед всіх вузлів і змінюються випадковим чином, так щоб зменшити енергоспоживання в мережі. В ході чого кожен  $n$ -й вузол мережі генерує випадкове число  $\xi_n$ , значення якого лежить в межах від 0 до 1, після чого кожен  $n$ -й вузол мережі обчислює порогові значення  $T_n(x)$ , які відповідають заздалегідь заданому числу ГВК. Якщо отримане випадкове число менше, ніж величини порогу –  $T_n(x)$ , то вузол може стати головним у поточному раунді, в іншому випадку цей вузол залишається в ролі члена кластера.

$$T_n(x) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P \left( r \bmod \frac{1}{P} \right)}, & n \in G; \\ 0, & n \notin G, \end{cases} \quad (6)$$

де  $(P)$  – задана частка головних вузлів серед всіх вузлів мережі. Рациональні значення  $(P)$  оцінюються в 5% від загальної кількості вузлів [12]. Змінна  $(r)$  відповідає поточному номеру інтервалу мережі,  $(G)$  – множина вузлів яка не була обрана, в якості ГВК за останні  $\left(\frac{1}{P}\right)$  інтервалів. Після чого кожен  $n$ -й вузол кластера порівнює значення  $\xi_r$  з  $T_n(x)$ . Якщо  $\xi_r < T_n(x)$ , то вузол назначається в якості вузла відправника. При виборі ГВК вузли, які не стали головними, обирають в залежності від рівня сигналу прийнятого від доступних ГВК, до якого кластеру приєднатися.

Зв'язність у кластері між вузлами і ГВК будемо характеризувати ймовірною можливістю сформувати між ними маршрут. В якості алгоритму маршрутизації використовується гібридний алгоритм протоколу *HWMP* стандарту *IEEE 802.11s*, доповнений здатністю враховувати виходу з ладу вузлів. Згідно до цього алгоритму маршрутизація в середині кластера для формування маршруту здійснюється між вузлами і ГВК на основі проактивних та реактивних алгоритмів [12].

На **третьому етапі** відбувається збір інформації про час існування діючого маршруту  $T_m(t)$  у кластері [9]. Інформацію про  $T_i(t)$  кожен  $i$ -й вузол записує у заголовок інформаційного пакету. У випадку, якщо у вузлі час існування виявиться меншим за час, який записаний у заголовку, вузол перезаписує існуюче значення. На прийомі вузол-адресат підсумовує інформацію про  $T_i(t)$ , обчислюючи час існування всього маршруту відповідно до виразу (1), і записує значення  $T_m(t)$  в пам'ять ГВК. При цьому після побудови нового маршруту обчислене вузлом-адресатом значення  $T_m(t)$  позначається як  $T_m(0)$  і надалі використовуватиметься для визначення параметру  $\delta$ , який показує скорочення часу існування маршруту після прийому наступного повідомлення.

На **четвертому етапі** ГВК визначається величина скорочення часу існування маршруту  $\delta$  як різниця початкового  $T_m(0)$  та поточного  $T_m(t)$  значень часу існування маршруту  $m$ . При цьому в пам'яті ГВК записується послідовність ряду останніх значень  $\delta$ , які обчислюються з виразом:

$$\delta_{j-2} = T_m(0) - T_{m_{j-2}}(t);$$

$$\delta_{j-1} = T_m(0) - T_{m_{j-1}}(t);$$

$$\delta_j = T_m(0) - T_{m_j}(t),$$

де  $T_m(0)$  – час існування маршруту на початку; послідовність часу існування маршруту  $T_{m_{j-2}}(t); T_{m_{j-1}}(t); T_{m_j}(t)$  отриманих з  $j-2, j-1, j$  повідомлень.

На основі отриманих значень  $\delta_{j-2}, \delta_{j-1}, \delta_j$  ГВК визначає величину скорочення часу діючого маршруту  $\delta_{j+1}$  і обчислює час існування діючого маршруту  $T_{m_{j+1}}(t)$ :

$$T_{m_{j+1}}(t) = T_m(0) - \delta_{j+1}. \quad (7)$$

На вхід контролера нечіткої логіки надходять дані про стан кожного вузла. В якості функцій належності для кожного терма всіх лінгвістичних змінних вибираємо функції належності. Після визначення функції належності і вхідних параметрів визначається база правил для відповідних параметрів.

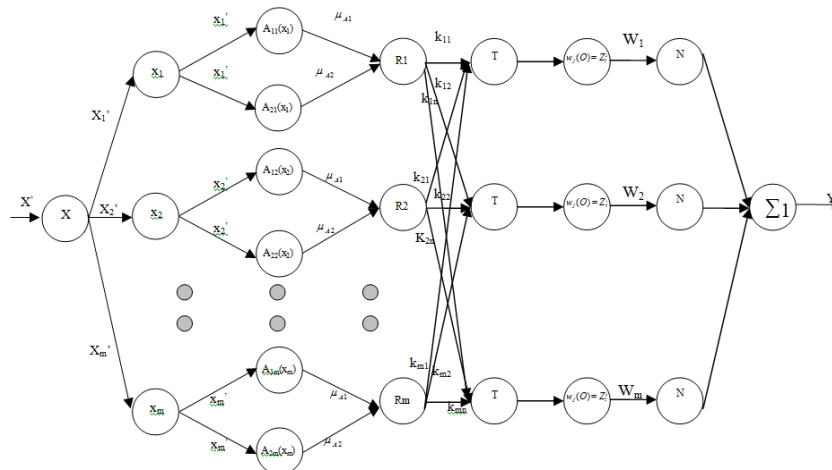


Рис. 2. Підтримка маршрутів на основі алгоритму вибору ГВК

Кожен нейрон у запропонованому алгоритмі підтримки маршрутів на основі вибору ГВК має адаптивне навчання. Швидкість навчання  $\mu$  визначає адаптацію вектора до вхідного шаблону і безпосередньо пов'язана з конвергенцією. Якщо  $\mu = 0$  – немає навчання. Якщо  $\mu = 1$ , то це призведе до швидкого навчання, а вектор прототипу буде безпосередньо вказаний на шаблон введення. Для іншого вибору  $\mu$  нова позиція вектора буде на лінії між старим векторним значенням та вхідним шаблоном. При цьому швидкість навчання може мати постійне значення або змінюватися з часом.

Реалізація даного включає в себе:

– **перший шар** представляє собою вхідний шар, який отримує вектор вхідних значень, що характеризує параметри вузлів, який проходить ініціалізацію вектора вузлів  $X^* = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ , які конкурують за місце ГВК.

Моделювання процесу підтримки маршрутів передачі даних в мережі з використанням нейро-нечіткого виводу можливо здійснити за допомогою системи комп'ютерної математики MATLAB, яка надає засоби для побудови нейрон-нечіткої мережі.

В даному етапі реалізовано підтримку маршрутів передачі даних в МР на основі ГВК з можливістю навчання, яка зазначена на рис. 2.

Вузли у вхідному шарі конкурують за ГВК, і повністю підключені до вихідних вузлів у конкурентному шарі. Кожен вихідний вузол відповідає кластеру та пов'язаний з ваговим вектором  $W_{ij} = 1, 2, \dots, m$ , де  $m$  – кількість кластерів. Нейрони у конкурентному шарі змагаються один з одним, нейроном переможцем виступає нейрон з найменшим значенням  $E_1^j$ , після чого він активується або звільняється.

– **другий шар** представляє собою розподіл кожного вхідного значення на лінгвістичні вхідні терми [13]. Кожна терма відповідає повноті отриманих значень вхідних параметрів у нечіткій відповідності {висока, низька}, тобто  $(A_1, A_2)$ , нейрони шару. Кожен з нейронів отримує вхідні значення та визначає ступень належності їх нечіткій множині. Вихід  $(A_1, A_2)$ ,  $m$ -го параметру має вигляд:

$$A_{im}(x_m) = \mu_{Ai}(x_m), \quad (8)$$

де  $x_m$  – вхідний сигнал  $m$ -го елемента;  $A_i$  – лінгвістична змінна, яка відповідає нечіткій відповідності множин;  $\mu_{Ai}$  – функція належності.

Кожен нейрон відповідає одному нечіткому правилу, а вихідне значення з  $m$  елементів являє собою завершення та визначатиметься:

$$R_m = \mu_{A1}(x_1) \times \dots \times \mu_{Am}(x_m). \quad (9)$$

Сумарне значення термів лінгвістичних змінних вузла відповідає вхідному значенню параметра  $X^*$ , що визначається з множини  $U$ :

$$X^* = \{(\mu_{A_i}(x), x) : x \in U\}, \quad (10)$$

де  $\mu_{A_i}(x)$  функція належності нечіткої множини ( $\mu_{A_i} : U \rightarrow [0, 1]$ ), що приписує кожному елементу  $x \in U$  ступінь його належності  $X^*$ .

$$M = X_m^* = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_m)}{x_m} = \sum_{i=1}^m \frac{\mu_A(x_i)}{x_i}. \quad (11)$$

Далі етап здійснюється за кроками [9]:

– *фазифікація вхідних змінних*, встановлення відповідності між конкретним значенням окремої вхідної змінної системи нечіткого виводу і значенням  $S_n^{mk}$ , яке відображає ступінь істинності підумови правила на основі значення функції належності відповідного їй терма вхідної змінної:

$$S_n^{mk} = \mu_n^m(\bar{x}_n), \quad (12)$$

де  $\bar{x}_n$  – вектор значень вхідних змінних системи нечіткого виводу;  $\mu_n^m(\bar{x}_n)$  – функція належності  $m$ -го терма;

– *агрегування підумов в нечітких правилах*, на якому відбувається визначення ступеню істинності умов  $S^{hk}$ ,  $h = \overline{1, N}$  за кожним з правил системи нечіткого виводу на основі відомих значень істинності підумов  $S_n^{mk}$ , які входять до нього. Якщо умову правила задано у формі нечіткого лінгвістичного виразу виду  $x_1 = a_1^m$ ,  $m = \overline{1, M}$ , етап їх агрегування залишає ступінь істинності без зміни. Якщо ж умова правила складається з декількох підумов, степінь істинності для такого правила визначається [14]:

$$S^{hk} = \min_n S_n^{mk}; \quad (13)$$

$$S^{hk} = \max_n S_n^{mk}, \quad (14)$$

де вираз (14) відображає логічну кон'юнкцію чи логічне „ТА” нечітких підумов правила (9), а вираз (16) – логічну диз'юнкцію чи логічне „АБО” правила (9). Ті правила, ступінь істинності яких не нульова, вважаються активними і використовуються для подальших розрахунків.

У результаті виконання цієї процедури визначаються рівні „відсікання” для умов кожного з правил. Виходи вузлів цього шару позначаються:

$$\eta_h, h = \overline{1, N}. \quad (15)$$

– *активація проміжних висновків в нечітких правилах* передбачає визначення значень функції належності кожного з підвисновків для вихідних лінгвістичних змінних, які розглядаються.

$$\mu^{hk}(\bar{w}_g) = \min_h \{Z_g^h, \mu_g^h(\bar{w}_g)\}, \quad (16)$$

де  $\mu_g^h(\bar{w}_g)$  – функція належності  $h$ -го терма вихідної змінної  $\bar{w}_g$ ;  $Z_g^h$  – ступінь істинності кожного з підвисновків, що розраховується:

$$Z_g^h = S^{hk} \cdot F^k, \quad (17)$$

де  $F^k$  – ваговий коефіцієнт правила.

– *акумуляція висновків нечітких правил* – передбачає об'єднання і акумуляція з використанням операції *max-диз'юнкції* [11; 14] всіх ступенів істинності підвисновків для отримання функції належності кожної із вихідних змінних:

$$\mu_g^*(\bar{w}_g) = \bigcup_{k=1}^{k_M} \bigcup_{h=1}^H \mu^{hk}(\bar{w}_g). \quad (18)$$

– *дефазифікація вихідних змінних* полягає в тому, що на основі результатів акумуляції всіх вихідних лінгвістичних змінних отримуються чіткі значення кожної із вихідних змінних, які можуть бути використані підсистемами вузла в процесі функціонування. Відповідно до [15], для дефазифікації використовується модифікований варіант в формі методу центру тяжіння для одноточкових множин:

$$w_g = \frac{\sum_{h=1}^H Z_g^h \cdot d_g^h}{\sum_{h=1}^H Z_g^h}, \quad (19)$$

де  $w_g$  – результат дефазифікації у вигляді чіткого значення змінної;  $H$  – загальна кількість активних правил нечітких продукцій, в підвисновках яких є вихідна лінгвістична змінна  $d_g^h$ .

– **третій шар.** Збір параметрів відповідним нечітким правилам та вибір переможця  $k$  з вузлів мобільного зв'язку як ГВК, де  $E_i^j$  мінімум наступним:  $k = \arg \min E_i^j$  – конкуруючий шар. Рівень активізації правила підраховується:

$$\alpha^1 = \sum_{l=1}^n T(\mu_{A_l^1}(x_1), \mu_{A_n^1}(x_2)), \quad l = 1, 2. \quad (20)$$

В якості операції  $t$  – норми використовується добуток. Кількість нейронів шару  $R_m$  відповідає кількості вхідних значень параметрів. Заключення нечітких правил з визначенням переможних термів параметрів направляються на наступний шар. Переможний лінгвістичний терм параметру визначається як оптимальне значення переможних параметрів або максимальних переможних значень:

$$R_m = \text{opt} \left\{ \max \mu_{A_m}; x_m \right\}. \quad (21)$$

– **четвертий шар.** Отримання  $Z_i^j$  як найменшу евклідову відстань ГВК до базового вузла, тобто

$$Z_i^j = k \sum_{i=1,2,\dots,m} |S_i - BS|, \quad (22)$$

де  $k$  – константа пропорційності.

– **п'ятий шар.** Підрахунок Евклідової відстані:

$$W_{j, \text{старе}} = Z_i^j. \quad (24)$$

– **шостий шар.** В даному шарі відбувається оновлення значення вагового вектора:

$$W_{l, \text{нове}} = W_{l, \text{старе}} - \mu(S_i - W_{l, \text{старе}}), \quad (25)$$

де  $\mu$  – швидкість навчання нейронів;  $0 \leq \mu \leq 1$ ,  $W_{l*}$  – значення вагового вектора.

– **сьомий шар** представлений одним елементом – суматором, який обраховує значення вихідної величини  $u^*$ , яка відповідає оптимальному маршруту. Нейроном переможцем виступає нейрон з найменшим значенням  $E_i^j$  – вихідного шару.

На **п'ятому етапі** ГВК приймається рішення щодо використання існуючого маршруту або пошуку інших маршрутів. Рішення про перехід на інший маршрут приймається ГВК при умові:

$$T_v(0) - T_{m_{j+1}}(t) \geq T_{\text{мдп}}(t) + \xi, \quad (26)$$

де  $T_m(0)$  – час існування маршруту на початку його побудови;  $T_{m_{j+1}}(t)$  – розрахований час існування маршруту;  $T_{\text{мдп}}(t)$  – мінімальний поріг скорочення часу існування маршруту;  $\xi$  – коефіцієнт, який визначається терміновістю інформації, що передається, динамікою зміни топології мережі, навантаженням на вузлах, та ін.

## Висновок

Таким чином, в статті удосконалено метод підтримки маршрутів передачі даних в МР. В основі удосконалення методу покладена нечітка логіка та генетичний нейронний алгоритм який дозволяє за рахунок контролю та розподілу залишкової ємності батарей збільшити час існування маршрутів та зменшити завантаження каналів мережі в наслідок чого приймається рішення щодо підтримки маршрутів передачі даних в мережі та збільшується час функціонування мережі.

У ході подальших досліджень буде розроблено метод підтримки розподілу навантаження в МР військового призначення.

## Список літератури

1. Романюк В.А. Архітектура системи оперативного управління тактичними радіомережами / В.А. Романюк // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ”. – 2009. – № 3. – С. 70-76.
2. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга // Ф. Розенблатт. – М.: Мир, 1965. – 480 с.
3. Романюк В.А. Концепция иерархического построения интеллектуальных систем управления тактическими радиосетями класса MANET / В.А. Романюк, О.Я. Сова, П.В. Жук, А.В. Романюк // Сборник тезисов докладов и выступлений участников XXII Международной Крымской конференции ["СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии"] (КрыМиКо). – Севастополь, 2012. – С. 265.
4. Ковтун М.В. Определение гранулярности данных таблиц фактов [Электронный ресурс] / М.В. Ковтун // Корпоративные хранилища данных. Интеграция систем. Проектная документация. – 2011. – Наименование с экрана. – Режим доступа до ресурсу: [http://prj-exp.ru/dwh/granularity\\_of\\_data.php](http://prj-exp.ru/dwh/granularity_of_data.php).
5. Sharma A. Cluster Based Routing in Mobile Ad hoc Wireless Networks Using Neuro-Genetic Paradigm / A. Sharma, S. Agarwal, R.S. Rathore // International Journal of Scientific & Engineering Research. – July 2012. – Volume 3. – Issue 7. – pp. 255-265.
6. Комашинский В.И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2002. – 94 с.
7. Жук П.В. Метод підтримання діючих маршрутів на основі прогнозованого часу їх існування в радіомережах типу MANET / П.В. Жук, О.Я. Сова, А.І. Міночкін, В.А. Романюк // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ "КПІ". – 2011. – № 3. – С. 34-43.
8. Бузюков Л.Б. Анализ влияния алгоритмов выбора головного узла на параметры функционирования БСС при различном распределении узлов по территории / Л.Б. Бузюков, Д.В. Окунева // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2016. – Том 4. – № 3. – С. 40-48.
9. Er I. Mobility-based d-hop clustering algorithm for mobile ad hoc networks. / I. Er, W. Seah // IEEE Wireless Communications and Networking Conference. – 2004. – Vol. 4. – P. 2359-2364.
10. Борисов В.В. Нечеткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.
11. Представление и использование знаний: Пер. с япон. под ред. Х.Уэно. – М.: Мир, 1989. – 220 с.
12. Жарков С.Н. Обзор алгоритмов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях // Научно-технический журнал Теория и техника радиосвязи. – Воронеж. – 2014. – № 2. – С. 5-16.

13. Сальник В.В. Метод навчання нечітких баз знань систем виявлення та запобігання вторгнень в мобільних радіомережах класу MANET / В.В. Сальник, С.В. Сальник, Е.М. Бовда // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 3(24). – С. 108-114.

14. Бершадский А. М. Обзор методов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях / А.М. Бершадский, Л.С. Курилов, А.Г. Финюгеев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 1 (21). – С. 47-57.

15. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссермен. –М.: Мир, 1992. –184 с.

## References

1. Romanjuk, V.A. (2009), “Arkhitektura systemy operatyvnogho upravlinnja taktychnymy radiomerezhamy” [Architecture of systems of operative control of strobe radio networks], *Collection of scientific works VITI NTUU „KPI”*, No. 3, pp. 70-76.

2. Rozenblatt, F. (1965), “Pryncypy neyrodynameky. Perceptrony y teoriya mekhanizmov mozgha” [Principles of Neurodynamics. Perceptrony and the theory of mechanisms of the brain], Myr, Moscow, 480 p.

3. Romanjuk, V.A., Sova, O.Ja., Zhuk, P.V. and Romanjuk, A.V.(2012), “Konceptsiya yerarkhycheskogho postroyeniya yntellektualnykh system upravleniya taktycheskymy radyosetjamy klassa MANET” [Concept of the hierarchical construction of intelligent control systems for tactical radio networks of the MANET class], *A collection of abstracts of reports and speeches of the participants of the XXII International Crimean Conference [“Microwave engineering and telecommunication technologies”]*, (КрымУКО),Sevastopolj, 265p.

4. Kovtun, M.V. (2011), “Opredelenye ghranuljarnosti dannykh tablyc faktov” [Determination of granularity of data of fact tables] *Corporate data warehouses. Integration of systems. Project documentation*, www.prj-exp.ru/dwh/granularity\_of\_data.php, (accessed 10 September 2017).

5. Sharma, A., Agarwal, S. and Rathore, R.S. (2012), Cluster Based Routing in Mobile Ad hoc Wireless Networks Using Neuro-Genetic Paradigm, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 3, Issue 7, pp. 255-265.

6. Komashynskiy, V.Y. and Smyrnov, D.A. (2002), “Nejronnye sety y ykh pryomenenye v sistemakh upravleniya y svyazy” [Neural networks and their application in control and communication systems], Hot line-Telecom, Moscow, 94 p.

7. Zhuk, P.V., Sova, O.Ja., Minochkin, A.I. and Romanjuk, V.A. (2011), “Metod pidtrymanja dijuchykh marshrutiv na osnovi proghnozovanogho chasu jikh isnuvannja v radiomerezhakh typu MANET” [The method of maintaining current routes based on the predicted time of their existence in radio networks like MANET], *Collection of scientific works of VITI NTUU “KPI”*, No. 3, pp. 34-43.

8. Buzjukov, L.B. and Okuneva, D.V. (2016), “Analiz vlyjanyja alghorytmov vyboragholovnogho uzla na parametry funkcyonirovaniya BSS pry razlychnom raspredeleniy uzlov po terrytoriy” [Analysis of the influence of algorithms for choosing the main node on the parameters of the functioning of the BSS with different distribution of nodes in the territory], *Information technology and telecommunications*, Vol. 4, No. 3, pp. 40-48.

9. Er, I. and Seah, W. (2004), Mobility-based d-hop clustering algorithm for mobile ad hoc networks, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp. 2359-2364.

10. Borysov, V.V., Krughlov, V.V. and Fedulov, A.S. (2007), “Nechetkiye modeli y sety” [Fuzzy models and networks], Hot line-Telecom, Moscow, 284 p.

11. Ueno, Kh. (1989), “Predstavlenye y yspoljzovanye znanyj” [Representation and use of knowledge], Myr, Moscow, 220 p.

12. Zharkov, S.N. (2014), “Obzor alghorytmov marshrutyzacyy v besprovodnykh sensorynykh setjakh” [Review of Routing Algorithms in Wireless Sensor Networks], *National Technical Journal Theory and Technology of Radiocommunication*, No. 2, Voronezh, pp. 5-16.

13. Salnik, VV, Salnik, S.V. and Bovda, E.M. (2016), “Metod navchannia nechitkykh baz znan system vyjavlennia ta zapobihannia vtornhen v mobilnykh radiomerezhakh klasu MANET” [Method of learning fuzzy knowledge bases of systems for detecting and preventing intrusions in mobile radio networks of the MANET class], *Science and technology of the Air Forces of Ukraine*, No. 3 (24), pp. 108-114.

14. Bershadskiy, A.M, Kurylov, L.S. and Fynogheev, A.Gh (2012), “Obzor metodov marshrutyzacyy v besprovodnykh sensorynykh setjakh” [Overview of routing methods in wireless sensor networks], *News of higher educational institutions. Technical sciences, Volga region*, No. 1 (21), pp. 47-57.

15. Wessermen, F. (1992), “Nejrokompyuternaya texnika: teoriya i praktika” [Neurocomputer Technology: Theory and Practice], Mir, Moscow, 184 p.

Надійшла до редколегії 6.10.2017

Схвалено до друку 16.11.2017

### Відомості про авторів:

**Сальник Володимир Васильович**  
Ад'юнкт Військового інституту  
телекомунікацій та інформатизації,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-0534-3822>  
e-mail: vov4iks@i.ua

### Information about the authors:

**Salnyk Volodymyr**  
Doctoral Student of Military Institute  
of Telecommunications and Informatization,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-0534-3822>  
e-mail: vov4iks@i.ua



**Сальник Сергій Васильович**

Ад'юнкт Військового інституту  
телекомунікацій та інформатизації,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-4463-5705>  
e-mail: sergey.00@rambler.ru

**Salnyk Sergey**

Doctoral Student of Military Institute  
of Telecommunications and Informatization,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-4463-5705>  
e-mail: sergey.00@rambler.ru

**Стрела Тетяна Сергіївна**

Ад'юнкт Військового інституту  
телекомунікацій та інформатизації,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-0727-746X>  
e-mail: strels455@gmail.com

**Strelya Tatyana**

Doctoral Student of Military Institute  
of Telecommunications and Informatization  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-0727-746X>  
e-mail: strels455@gmail.com

**Олексенко Віталій Петрович**

Начальник факультету Військового інституту  
телекомунікацій та інформатизації,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-2188-3557>  
e-mail: ovp2017@i.ua

**Oleksenko Vitaliy**

Head of Department of Military Institute  
of Telecommunications and Informatization  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-2188-3557>  
e-mail: ovp2017@i.ua

**МЕТОД ПОДДЕРЖКИ МАРШРУТОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В МОБИЛЬНЫХ РАДИОСЕТЯХ  
ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

В.В. Сальник, С.В. Сальник, Т.С. Стрела, В.П. Олексенко

*В последние десятилетия мобильные радиосети становятся все более применяемыми как в повседневной жизни, так и в военной области, особенно в тактическом звене управления войсками. Одним из важнейших вопросов, который необходимо решить в процессе их проектирования, является поддержка маршрутов передачи данных. Создание интеллектуальной системы поддержки принятия решений в автоматизированных системах управления связью необходимо для: эффективного управления сетью военного назначения, оперативного управления, контроля и учета данных. Интеллектуальная система поддержки принятия решений направлена на выполнение задач восстановления сети военного назначения в условиях сокращения времени и ресурсов, расходуемых в процессе функционирования.*

*Поэтому в статье предложен усовершенствованный метод поддержки маршрутов передачи данных на основе нечеткой логики в мобильных радиосетях военного назначения, суть которого заключается в применении нечеткой логики и генетического нейронного алгоритма. В данном методе предложен подход который предусматривает пять основных этапов функционирования поддержки маршрутов передачи данных в мобильной радиосети на основе выбора головного узла кластера с возможностью обучения, позволяет уменьшить загрузку каналов сети за счет контроля и распределения остаточной емкости батарей, в результате чего может быть принято управленческое решение по построению маршрутов передачи данных и увеличение времени функционирования мобильной радиосети.*

**Ключевые слова:** маршрутизация, система поддержки принятия решений, мобильная радиосеть.

**METHOD OF SUPPORT OF DATA TRANSFER ROUTES IN MOBILE MILITARY NETWORKS  
OF MILITARY PURPOSE BASED ON FUZZY LOGIC**

V. Salnyk, S. Salnyk, T. Strelya, V. Oleksenko

*In recent decades, mobile radio networks have become more and more used, both in everyday life and in the military, especially in the tactical management of troops. One of the most important issues to be addressed in the design process is the support for data routing. Creating an intelligent decision support system in automated communication management systems is essential for: efficient management of the military purpose network, operational management, monitoring and data recording. The intelligent decision-support system is aimed at fulfilling tasks of rebuilding the military-based network, with the reduction of time and resources spent in the process of functioning.*

*Therefore, the article proposes an improved method of supporting data transfer routes based on fuzzy logic in mobile radio networks of military purpose, the essence of which is the application of fuzzy logic and genetic neural algorithm. This method proposes an approach that involves five main steps in supporting the operation of data routing in a mobile radio network based on the choice of a host main cluster with the ability to learn, which reduces the download of network channels through the control and distribution of residual capacity of batteries, which may lead to A management decision has been made to build data transfer routes and increase the life of mobile radio networks.*

**Keywords:** routing, decision support system, mobile radio network.