

DOI 10.20535/2411-1031.2023.11.2.293815

УДК 621.396

СЕРГІЙ САЛЬНИК

МЕТОДИКА ГІБРИДНОЇ ПОБУДОВИ ТА ПІДТРИМКИ МАРШРУТІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В ПРОГРАМОВАНИХ ЗАСОБАХ МОБІЛЬНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

У статті запропоновано методику гібридної побудови та підтримки маршрутів передачі даних в програмованих засобах мобільного радіозв'язку на основі нейронних мереж. Враховуючи особливості функціонування мереж мобільного радіозв'язку та засобів зв'язку в статті запропоновано інтелектуалізувати процеси управління потоками даних шляхом використання технологій обробки знань при побудові системи управління. В основі побудови системи управління доцільно покласти використання апарата нейронних мереж, в методиці запропоновано три основні кроки її побудови, а саме спосіб гібридної побудови маршрутів передачі даних, спосіб підтримки маршрутів передачі даних та моделювання процесу побудови та підтримки маршрутів передачі даних в мережі з використанням нейронних мереж.

На відміну від подібних методик, які: застосовується в стаціонарних мережах зв'язку з невеликою кількістю кінцевих вузлів, без можливості проведення контролю функцій маршрутів передачі даних; які характеризуються відсутність чіткої ієрархії прийняття рішень та наявністю непередбачуваності при застосуванні в системах передачі даних мереж мобільного радіозв'язку; не враховують особливостей функціонування засобів мобільного радіозв'язку. Запропонована методика здатна будувати маршрути передачі даних, збільшує час функціонування мережі та зменшує завантаження каналів мережі на основі застосування гібридної структури побудови нейронної мережі, шляхом мінімізації службового трафіка на інформаційному напрямку; вибору типу, кількості та способу контролю маршрутів передачі даних; введенні ієрархії процесу прийняття рішень з побудови маршруту передачі даних та вибору параметрів даних з урахуванням характеристичних особливостей застосування програмованих засобів мобільного зв'язку для забезпечення заданої якості обслуговування мережі при різних умовах функціонування засобів мобільного радіозв'язку, з використанням нейронних мереж.

Ключові слова: мобільний радіозв'язок, програмовані засоби зв'язку, побудова маршрутів, підтримка маршрутів, передача даних, гібридна структура, нейронна мережа.

Постановка проблеми. В засобах мобільного радіозв'язку (МР) передача інформації між відправником та адресатом може здійснюється як безпосередньо, так і шляхом ретрансляції через проміжні вузли. Основною умовою для успішної передачі або прийому інформації між двома будь-якими вузлами є наявність радіозв'язності між ними. Зважаючи на повну мобільність всіх елементів МР забезпечення цієї зв'язності між мобільними вузлами можливе як шляхом управління побудовою маршрутів передачі даних так і шляхом підтримки маршрутів передачі даних. При цьому як і в одному так і в іншому випадку виникає актуальне завдання, яке полягає у виборі таких управлінських рішень, які б з одного боку забезпечили передачу інформації в МР із заданою якістю обслуговування, а з іншого боку змогли мінімізувати витрати мережевих ресурсів.

Приймаючи до уваги характеристичні особливості функціонування МР, множину сучасних або перспективні програмованих засобів зв'язку які застосовуються в мережах

зв'язку, аналіз сучасних відомостей про нові технології створення, модернізації, удосконалення, розроблення засобів зв'язку які спрямовані на покращення їх характеристичних можливостей способом удосконалення алгоритмів, способів та методів їх використання, тому для вирішення цього завдання пропонується використання апарата нейронних мереж з урахуванням характеристичних особливостей засобів МР.

Мета статті полягає в в можливості покращенні таких технічних можливостей як: можливість побудови маршрутів передачі даних заданої якості, збільшенні часу існування маршрутів передачі даних та збільшенні пропускної спроможності інформаційного напрямку способом розробки методики гібридної побудови та підтримки маршрутів передачі даних в програмованих засобах МР на основі нейронних мереж.

Об'єктом дослідження є процес передачі інформації в засобах МР.

Предметом дослідження є методика гібридної побудови та підтримки маршрутів передачі даних в програмованих засобах МР на основі нейронних мереж.

Аналіз останніх досліджень. Механізм управління потоками даних (УПД) являє собою множину взаємопов'язаних правил, згідно яких обробляються потоки даних. Ці правила повинні: визначати маршрути проходження потоків даних; прогнозувати, запобігати перевантаженню, регулювати вхідний трафік, управляти розподілом буферної пам'яті. Якісне та ефективне забезпечення зв'язку неможливе без ефективної системи УПД. При відсутності даної системи неможливий процес узгодження характеристик потоків даних і характеристик засобів, які обслуговують ці потоки, що здійснюється шляхом встановлення таких значень параметрів відповідних мережевих елементів, при яких забезпечується доставка даних в мережі із заданою якістю обслуговування.

У мережах електронних комунікацій розрізняють наступні рівні УПД:

- міжвузловий рівень, де забезпечується УПД між двома сусідніми вузлами комутації з метою запобігання переповнення локальних буферів;
- рівень доступу до мережі, де здійснюється обмеження вхідного потоку даних за результатами вимірювання внутрішнього навантаження мережі. Управління здійснюється між абонентами і вузлом комутації;
- рівень вузол комутації – джерело – вузол комутації – адресат, який запобігає переповненню буфера вузла комутації-адресата;
- рівень процес-процес, який запобігає переповненню буферів користувачів на рівні процесів.

З метою побудови ефективної системи УПД в сучасних засобах зв'язку які є програмованими є необхідність у виборі такого математичного апарату якій: буде спроможним до представлення у формі програмної реалізації, ресурсно та математично необтяжливим, здатним до інтелектуалізації прийняття управлінських рішень, бути гнучким до зміни цільової функції, швидким, точним, повним, достовірним, здатним працювати в умовах характерним застосуванню МР.

В цілому вивчення, удосконалення та розробка подібних способів та методів покращення стану функціонування компонентів МР та МР в цілому сприятиме покращенню характеристичних особливостей та функціональних можливостей елементів МР, засобів, компонентів, мереж зв'язку та покращенню характеристик та функціональних особливостей засобів що застосовуються в МР та комплексах зв'язку. До таких засобів зв'язку, які застосовуються при організації МР належать засоби: організації управління МР; моніторингу стану функціонування систем УПД в МР; організації взаємодії елементів ПУПД, вузлів МР, тощо [1], [2].

На сьогодні, будь які системи управління динамічно розвиваються в напрямку їхньої інтелектуалізації, при цьому істотно змінюється технологія прийняття управлінських рішень. Інтелектуальні системи поєднують можливості систем управління базами даних і технологію штучного інтелекту, завдяки чому зберігання управлінської інформації в них поєднується з обробкою й підготовкою її для використання при прийнятті рішень.

Тривалий час вважалося, що інтелектуальні системи ефективні лише для вирішення так званих неформалізованих і погано формалізованих завдань, пов'язаних з необхідністю включення в алгоритм їхнього вирішення даних про навчання на реальному експериментальному. Однак останнім часом інтелектуальні системи все ширше використовуються при вирішенні завдань у системах зв'язку й електронних комунікацій: маршрутизації, управлінні трафіком, потоком даних, тощо [3]. Так, у [4] запропоновано інтелектуалізувати процес управління ресурсами МР шляхом використання різних технологій обробки знань при побудові вузлової системи управління.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасне тлумачення поняття методики, являє собою сукупність методів і прийомів цілебумовленого вирішення деякої задачі або сукупність взаємопов'язаних способів та прийомів доцільного проведення будь-якої роботи. Тому рішення проблематики розробки методики гібридної побудови та підтримки маршрутів передачі даних в програмованих засобах МР полягатиме у площині розробки взаємопов'язаних способів (методів) побудови маршрутів передачі даних та підтримки маршрутів передачі даних в МР на основі використання нейронних мереж.

Методика гібридної побудови та підтримки маршрутів передачі даних в програмованих засобах МР на основі нейронних мереж.

I. Спосіб (метод) гібридної побудови маршрутів передачі даних в програмованих засобах МР.

Аналіз сучасних методів побудови маршрутів передачі даних вказує на те що, вони здебільшого пристосовані для стаціонарних або комп'ютерних мереж передачі даних. Дані методи призначені для рішення завдань виходячи із мети для якої вони були створені. Ці методи відрізняються один від одного цільовими функціями, множиною параметрів даних, характеристичними особливостями середовища застосування, характеристиками та інше. А з іншого боку програмованим засобам МР притаманні й особливості застосування стаціонарних або комп'ютерних мереж передачі даних. В наслідок чого існуючі методи не задовольняють умовам та вимогам застосування саме в МР, а саме: врахування характеристичних особливостей функціонування МР; наявність інтелектуалізації процесу управління; робота в режимі реального часу; невисока обчислювальна складність; можливість боротьби з перевантаженнями; відсутність зацикленних маршрутів; самонавчання; збільшення швидкості навчання; прогнозування подій [2].

До основних факторів які впливають на якість функціонування МР та характеристики якості обслуговування цих мереж, відноситься: поява черг мережевого трафіка; поява затримок передачі пакетів мережею, втрата пакетів, переповнення буфера комутатора або маршрутизатора, тощо. Черги створюються на тих проміжках, на яких інтенсивність надходження пакетів перевершує інтенсивність обслуговування. Перевантаження ресурсів може призвести до зменшення пропускної спроможності МР, у разі коли, мережею передаються пакети повідомлень. Це відбувається в тому випадку, коли затримка доставки пакетів перевищує встановлений поріг, і пакети по тайм-ауту відкидаються вузлом призначення, як застарілі. У разі, якщо протоколи, які працюють у мережі, використовують надійні процедури передачі даних на основі квітування та повторної передачі втрачених пакетів, то процес перевантаження мережі буде наростати ще більше.

На відміну від стаціонарних мереж зв'язку, де мережева топологія залишається незмінною протягом тривалого проміжку часу, вузли та елементи МР не мають жодної інформації про топологію радіомережі, тому повинні самі виявити її і побудувати маршрути в разі необхідності передачі даних. В МР, як і в стаціонарних мережах зв'язку, процес маршрутизації реалізується з допомогою методів, які являють собою сукупність семантичних і синтаксичних правил, що визначають процес побудови та підтримання маршрутів передачі між відправником та адресатом в МР і забезпечують ефективне використання мережевих ресурсів при заданій якості обслуговування користувачів. Тому важливе значення має вибір моделі та архітектури протоколу обміну даними.

I.I. Вибір моделі та архітектури протоколу обміну даними.

В цілому до сучасних протоколів (способів, методів) управління потоками даних відноситься: AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector), DSR (Dynamic Source Routing), GOR (Global On-Demand Routing protocol), OON (OrderOne MANET), ZRP (Zone Routing Protocol), OpenFlow (протокол управління процесом).

Вибір архітектури побудови кожного окремого методу буде залежати від умов функціонування мережі та вимог до передачі того чи іншого типу трафіка. Так, при низькій динаміці зміни мережевої топології більш ефективними є таблично-орієнтовані методи, а з ростом динаміки топології мережі перевагу отримують зондові методи. Зазначену невідповідність намагаються вирішувати гібридні методи, які об'єднали в собі переваги таблично-орієнтованих та зондових. Крім того, на вибір конкретного методу будуть впливати вимоги, які накладаються з боку мережі чи необхідність ефективного використання вузлових та мережевих ресурсів.

В цілому сучасні системи управління (СУ) здебільшого використовують методи побудови маршрутів передачі даних, які не враховують особливостей функціонування МР. Тому доцільно висунути до методів які розробляються множину вимог: наявність технології прийняття рішень, самонавчання, інтелектуалізації, врахування особливостей функціонування МР, проведення аналізу трафіка, застосування при нечіткій мережевій активності, забезпечення необхідної якості обслуговування різних типів трафіка.

Очевидно, що сучасні методи побудови маршрутів передачі даних при використанні зазначених алгоритмів збільшують математичну складність та ускладнюють мережеві пристрої. Тому виходячи із мети розробки методики та з урахуванням зазначених вимог буде запропонована гібридна структури методу побудови маршрутів передачі даних на основі нейронної мережі.

I.II. Спосіб (метод) гібридної побудови маршрутів передачі даних програмованих засобів МР.

Вихідні дані: x_1 – тип трафіка, x_2 – об'єм інформації, x_3 – розмір черг на вході вузла-адресата, x_4 – швидкість зміни розміру черги вузла-адресата, x_5 – кількість адресатів, x_6 – залишкова ємність батареї, x_7 – якість маршрутів між вузлами, x_8 – швидкість передачі, x_9 – довжина пакету даних, x_{10} – множина маршрутів між абонентами мережі, x_{11} – мінімально допустиме значення пропускної здатності з'єднання, x_{12} – максимально допустиме значення затримки передачі в з'єднанні, x_{13} – середня швидкість передачі, x_{14} – середня затримка передачі, x_{15} – множина допустимих шляхів, x_{16} – інтенсивність відправки пакетів.

Необхідно: розробити метод гібридної побудови маршрутів передачі даних з урахуванням характеристичних особливостей застосування МР при задоволенні користувальницької оптимізації, вимог до якості обслуговування типу трафіка.

Суть методу полягає в введенні ієрархії процесу прийняття рішення з побудови маршруту передачі даних з метою забезпечення заданої якості обслуговування певних типів трафіка при різних умовах функціонування МР з використанням гібридної структури побудови.

Етапи реалізації методу:

1. Вибір: цільової функції управління маршрутами; вимог до передачі трафіка, якості обслуговування в залежності від стану інформаційного напрямку.

2. Збір інформації про час існування діючого маршруту на напрямку $a - b$;

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

3. Аналіз отриманих квитанцій, підрахунок часу очікування квитанцій, оновлення матриці станів маршрутів, тощо.

4. Обрахування потоків даних, шляхом визначення потоків, що втрачені в процесі їх передавання. Обрахування ймовірності своєчасного передавання пакетів p пріоритету через канал зв'язку визначається за схемою Бернуллі:

$$P_p = \sum_{u=1}^b \left[P_{pu} \sum_{k=0}^{c_b^u} \prod_{i \in k} P_{pi} \prod_{j \in (b-k)} (1 - P_{ij}) \right]. \quad (2)$$

Ймовірність доведення пакетів за шляхом визначається:

$$P_{\gamma p} = \prod_{\beta=1}^w P_{\beta p}. \quad (3)$$

Визначення частки потоків, які можуть бути прийняті на обслуговування мережею та розподіл їх за шляхами доставки. Для кожного з пріоритетних потоків λ_p необхідно знайти такі λ_p^* , при яких досягається максимум добутку коефіцієнтів недовикористання пропускних здатностей каналів зв'язку:

$$\lambda_p^* = \max_{\lambda_{ver} \in \lambda} p \prod_{i \in N} \prod_{j \in N} \left(1 - \frac{c_{ij} + \lambda_{ij(p-1)} + \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{ijp}^{kp}}{k_{ij} \mu_{ij}} \right). \quad (4)$$

5. Визначення загальної кількості повідомлень з потрібною якістю. Визначаємо потік, що обслуговано:

$$\lambda_{ktp}^{obc} = \lambda_{ktp} \cdot P_{ktp}, \quad \lambda_{ktp} \in \Lambda_p. \quad (5)$$

Кількість повідомлень, що передається в одиницю часу, визначається:

$$\Lambda_{obc} = \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_{ktp}^{obc}}{\delta_p}, \quad (6)$$

де Λ_{obc} характеризує пропускну здатність мережі.

6. Підрахунок кількості спроб передачі пакетів та кількості адресатів, визначення незалежних маршрутів.

7. Визначення величини скорочення часу життя діючого маршруту $\delta_{j-2}, \delta_{j-1}, \delta_j$.

8. Прогнозування величини скорочення часу життя діючого маршруту δ_{j+1} . на основі значень $\delta_{j-2}, \delta_{j-1}, \delta_j$.

9. Підрахунок пропускної здатності маршруту визначається мінімальною пропускну здатністю каналу, який входить до його складу:

$$s(m_{sd}) = \min_{(s,d) \in m} \{s(c_{ij})\}. \quad (7)$$

Максимальну пропускну здатність з'єднання i -го вузла з j -м вузлом визначаємо як сумарну пропускну здатність всіх маршрутів направлено графа з вершини i в j , тобто як максимальний потік з вершини i в j :

$$S(C) = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} f(i, j), \quad i \neq j, \quad (8)$$

де $f(i, j) \leq \min_{(i,j) \in m} \{s(c_{ij})\}$.

10. Вибір способу зондування та побудова маршруту адресатам. Розсилання зонду-запиту вузлом i . Прийом зонду-запиту проміжними вузлами (або адресатом j). Вимірювання параметрів мережі проміжними вузлами; обробка зонду запиту адресатом j . Відправка зонду-відповіді адресатом. Надсилання повідомлення вузлом з інформацією про вибраний маршрут (маршрути).

11. Визначення відповідності висунутим вимогам передачі трафіка. Прийом рішення щодо переходу на новий маршрут (вибір кількості маршрутів, типу маршрутизації та прогнозування відстрочки передачі пакетів або зниження їх).

За умови заповнення матриці інформацією про кількість успішно переданих і втрачених пакетів для кожного вузла і на кожному маршруті, рядок матриці з найменшим ваговим коефіцієнтом є статистично найбільш надійним маршрутом. Оскільки ваговий коефіцієнт маршруту $\gamma_i = \sum_{j=1}^k \frac{1}{M_{ij}} = \sum_{j=1}^k \gamma_j$, то чим більше число успішно переданих пакетів, тим швидше γ_i прагне до нуля, а отже тим більш статистично надійний даний маршрут.

При передачі декількох пакетів, тобто коли $B > 1$, виникає питання з вибору напрямку передачі. Для вирішення даного завдання доцільно скористатися апаратом дискретної математики, зокрема теорією розбиття числа на складові. За допомогою теорії отримуємо функцію виду $\phi(p) = \frac{1}{(1-x)(1-x^2)(1-x^3)\dots(1-x^p)}$.

Тоді можливо сформулювати завдання пошуку оптимальних маршрутів наступним чином – знайти таку комбінацію розподілу переданих пакетів по маршрутами, щоб ваговий коефіцієнт був мінімальним [5].

II. Спосіб (метод) підтримки маршрутів передачі даних програмованих засобів МР.

Виходячи з аналізу методів підтримки прийняття рішень [6] було запропоновано метод підтримки маршрутів в основі якого покладено апарат нейронних мереж. 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.

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: розробити метод підтримки маршрутів передачі даних в програмованих засобів МР, якій ґрунтується на використанні 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 (11):

$$U_M^{a-b}(t) = \arg \underset{U_M(t) \in \Omega}{opt} C^{a-b}(X^{a-b}, U_M^{a-b}(t)), \quad (11)$$

$$X(t) = \{E_{s_i}^{a-b}(t), \Gamma_i^{\xi a-b}(t), \omega^{a-b}(t), T_m(t), T_i(t), S^{a-b}(t)\}, \quad (12)$$

та виконанні обмежень на ресурс і вимог до якості обслуговування ξ -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 ξ ; $E_{s_i}^{a-b}(t)$ – 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 рівнях моделі OSI.

Суть розробки методу полягає в забезпеченні 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, пропускнув 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 критеріїв. Кластеризація буде реалізована при застосуванні нейронної мережі.

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

Час існування діючого маршруту $T_m(t)$ буде визначатися мінімальним часом життя i -го вузла $T_i(t)$ на маршруті m (1).

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

$$T_i(t) = \frac{E_{3_i}(t)}{\sum_{j=1}^{\overline{J}} R_j(t)}, \quad j = \overline{1, J}, \quad (9)$$

де $E_{3_i}(t)$ – 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 (9):

$$R_j(t) = \frac{E_{3_{j-1}}(t) - E_{3_j}(t)}{t_j - t_{j-1}}, \quad (10)$$

де $E_{3_{j-1}}(t)$ та $E_{3_j}(t)$ – 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.

Запропонований спосіб (метод) передбачає п'ять основних етапів функціонування:

1. Відбувається розміщення вузлів. Передбачається, що X вузлів розподілені випадковим чином на площині для побудов МР, i -й вузол позначається x_i , відповідно, множину вузлів $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.

2. Призначений для зв'язку між вузлами, формалізації кластерів на основі НМ. Головним вузлом кластера (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 ξ_n , значення якого лежить в межах від 0 до 1 після чого кожен n -й вузол мережі обчислює порогові значення $T_n(x)$, яке відповідає 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.

$$T_n(x) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P(r \bmod \frac{1}{P})}, & n \in G \\ 0 & n \notin G \end{cases}, \quad (13)$$

де (P) – задана частка головних вузлів серед всіх вузлів мережі. Раціональне значення (P) оцінюється в 5% від загальної кількості вузлів. 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 ξ_T з $T_n(x)$. Якщо $\xi_T < T_n(x)$, 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.

3. Відбувається збір інформації про час існування діючого маршруту $T_m(t)$ у кластері. 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 (13), 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 δ , який показує скорочення часу існування маршруту після прийому наступного повідомлення.

При цьому, в пам'яті записується послідовність останніх значень δ , 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 $T_{m_{j-2}}(t)$, $T_{m_{j-1}}(t)$, $T_{m_j}(t)$, отримана з $j-2$, $j-1$, j -го повідомлень.

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

$$T_{m_{j+1}}(t) = T_m(0) - \delta_{j+1}. \quad (14)$$

На вхід контролера 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.

5. Приймається рішення щодо використання існуючого маршруту або пошуку інших маршрутів. Рішення про перехід на інший маршрут приймається ГВК при умові:

$$T_v(0) - T_{m_{j+1}}(t) \geq T_{m_{\text{дан}}}(t) + \xi, \quad (15)$$

де $T_m(0)$ – час існування маршруту на початку його побудови;

$T_{m_{j+1}}(t)$ – розрахований час існування маршруту;

$T_{m_{\text{дан}}}(t)$ – мінімально поріг скорочення часу існування маршруту;

ξ – коефіцієнт, який визначається терміновістю інформації, що передається, динамікою зміни топології мережі, навантаженням на вузлах, та ін. [7].

III. В даному способі відбувається моделювання процесу підтримки побудови маршрутів передачі даних в мережі з використанням нейронного виводу, який можливо здійснити із застосуванням програмних пакетів Matlab Simulink, TensorFlow та KEGG MODULE, які надають засоби для побудови нейронної мережі, та бази даних для відправки повідомлень.

Вихідні дані: 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_i^j , після чого він активується або звільняється.

Кожен нейрон у запропонованому алгоритмі підтримки маршрутів на основі вибору ГVK має адаптивне навчання. Швидкість навчання μ визначає адаптацію вектора до вхідного шаблону. 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 μ , 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.

Необхідно: розробити нейронну мережу побудови та підтримки маршрутів передачі даних в програмованих засобах МР.

В даному етапі методики реалізовано підтримку маршрутів передачі даних в МР для перших двох способів з можливістю навчання (рис. 1).

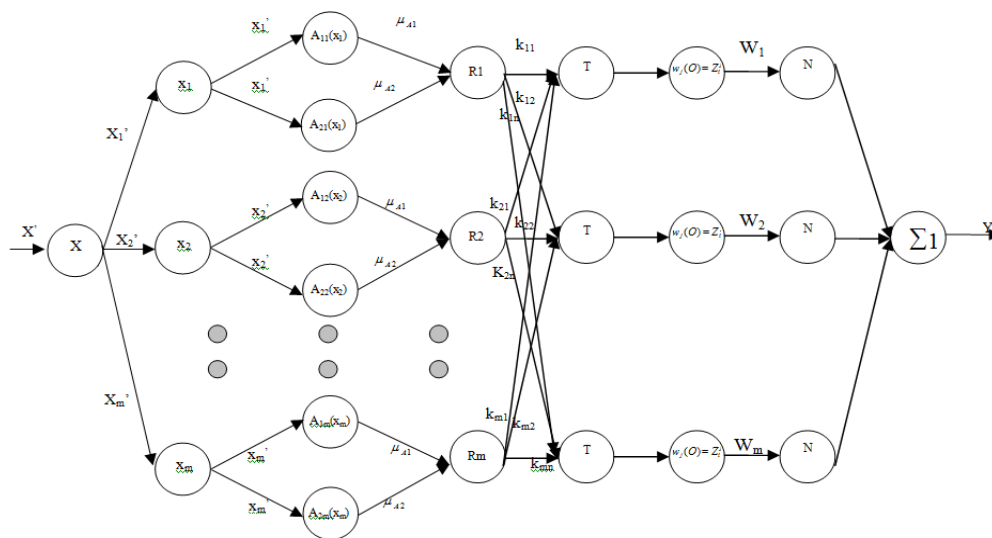


Рисунок 1 – Підтримка побудови маршрутів передачі даних на основі нейронної мереж

Реалізація даного включає в себе:

1 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 ГVK.

2 шар. Представляє собою розподіл кожного вхідного значення на лінгвістичні вхідні терми. 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:

$$A_{im}(x_m) = \mu_{Ai}(x_m), \tag{16}$$

де x_m – вхідний сигнал m -го елемента;

A_i – лінгвістична змінна, яка відповідає нечіткій відповідності множин;

μ_{Ai} – функція належності.

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

$$R_m = \mu_{A1}(x_1) \times \dots \times \mu_{Am}(x_m). \tag{17}$$

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

$$X^* = \{(\mu_{A_i}(x), x) : x \in U\}, \quad (18)$$

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^* .

$$M = X^* = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_m)}{x_m} = \sum_{i=1}^m \frac{\mu_A(x_i)}{x_i}. \quad (19)$$

3 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:

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

4 шар. Отримання Z_i^j як найменшу евклідову відстань ГВК до базового вузла, тобто

$$Z_i^j = k \sum_{i=1}^m |S_i - BS|, \quad (21)$$

де k – константа пропорційності.

5 шар. Підрахунок Евклідової відстані:

$$w_{j\text{старе}} = Z_i^j. \quad (22)$$

6 шар. Оновлення значення вагового вектора:

$$W_{l\text{нове}} = W_{l\text{старе}} - \mu(S_i - W_{l\text{старе}}), \quad (23)$$

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

7 шар. Суматор, який обраховує значення вихідної величини y^* , яка відповідає оптимальному маршрутів. Нейроном переможцем виступає нейрон з найменшим значенням E_i^j – вихідного шару.

Висновки. Таким чином, в статті запропоновано методику гібридної побудови та підтримки маршрутів передачі даних в програмованих засобах МР на основі нейронної мережі. На відміну від подібних методик, які: застосовується в стаціонарних мережах зв'язку з невеликою кількістю кінцевих вузлів, без можливості проведення контролю функцій маршрутів передачі даних; які характеризуються відсутність чіткої ієрархії прийняття рішень та наявністю непередбачуваності при застосуванні в системах передачі даних мереж мобільного радіозв'язку; не враховують особливостей функціонування засобів мобільного радіозв'язку. Запропонована методика здатна будувати маршрути передачі даних, збільшує час функціонування мережі та зменшує завантаження каналів мережі на основі застосування гібридної структури побудови нейронної мережі, шляхом мінімізації службового трафіка на інформаційному напрямку; вибору типу, кількості та способу контролю маршрутів передачі даних; введенні ієрархії процесу прийняття рішень з побудови маршруту передачі даних та вибору параметрів даних з урахуванням характеристичних особливостей застосування програмованих засобів мобільного зв'язку для забезпечення заданої якості обслуговування мережі при різних умовах функціонування засобів мобільного радіозв'язку, з використанням нейронних мереж.

В цілому, з огляду на запропоновану нову методику гібридної побудови та підтримки маршрутів передачі даних в програмованих засобах МР на основі нейронних мереж, можна зазначити що, мета статті, яка полягала в можливості покращенні таких технічних можливостей як: можливість побудови маршрутів передачі даних заданої якості, збільшенні часу існування маршрутів передачі даних та збільшенні пропускної спроможності інформаційного напрямку способом розробки методики гібридної побудови та підтримки маршрутів передачі даних в програмованих засобах МР на основі нейронних мереж, повністю досягнута.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] В. В. Сальник, С. В. Сальник, К. В. Лукіна, та В. П. Олексенко, “Аналіз методів підтримки прийняття рішень в автоматизованих системах управління зв’язком спеціального призначення”, *Системи озброєння та військова техніка*, № 2 (50), с. 114-119, 2017.
- [2] С. В. Сальник, В.Д. Голь, та А. С. Дівіцький, “Аналіз методів управління потоками даних в мобільних радіомережах спеціального призначення”, *Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації*, № 1 (7), с. 41-51, 2020.
- [3] I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, and K. R. Chowdhury, “CRAHNS: Cognitive radio ad hoc networks”, *Ad Hoc Networks*, vol. №7, iss. 5, pp. 810-836, 2009. doi: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2009.01.001>.
- [4] В. А. Романюк, “Інтелектуальні мобільні радіомережі”, на *V наук.-тех. конф. Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення*, Київ, 2010, с. 28-36.
- [5] С. В. Сальник, К. О. Ефанова, та С. П. Бригадир, “Метод гібридної побудови маршрутів передачі даних в телекомунікаційних мережах спеціального призначення”, *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*, № 1 (34), с. 161-166, 2019.
- [6] В. В. Сальник, С. В. Сальник, Т. С. Стрела, та В. П. Олексенко, “Метод підтримки маршрутів передачі даних в мобільних радіомережах спеціального призначення на основі нечіткої логіки”, *Наука і техніка повітряних сил Збройних Сил України*, № 4 (29), с. 60-68, 2017.
- [7] А. С. Дівіцький, А. С. Сторчак, А. Є. Крамський, С. В. Сальник, “Метод навчання маршрутів передачі даних в мобільних радіомережах”, *Information technology and security*, vol. 10, no. 1(18), pp. 60-71, 2022. doi: <https://doi.org/10.20535/2411-1031.2022.10.1.261175>.

Стаття надійшла до редакції 15.11.2023.

REFERENCE

- [1] V. Salnyk, S. Salnyk, K. Lukina, and V. Oleksenko, “Analysis of decision-making support methods in automated special purpose communications management systems”, *Weapon systems and military equipment*, vol. 2, iss. 50, pp. 114-119, 2017.
- [2] S. Salnyk, V. Gol, and A. Divitskyi, “Analysis of data flow management methods in special purpose mobile radio networks”, *Special telecommunications systems and information protection*, vol. 1, iss. 7, pp. 41-51, 2020.
- [3] I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, and K. R. Chowdhury, “CRAHNS: Cognitive radio ad hoc networks”, *Ad Hoc Networks*, vol. №7, iss. 5, pp. 810-836, 2009. doi: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2009.01.001>.
- [4] V. Romanyuk, “Smart mobile radio networks”, in *Proc. V scien. and tech. conf. Priority areas of development of telecommunication systems and special purpose networks*, Kyiv, 2010, pp. 28-36.
- [5] S. Salnyk, K. Efanova, and S. Brigadyr, “The method of hybrid construction of data transmission routes in special purpose telecommunication networks”, *Modern information technologies in the sphere of security and defense*, vol. 1, iss. 34, pp. 161-166, 2019.
- [6] V. Salnyk, S. Salnyk, T. Strela, and V. Oleksenko, “A method of maintaining data transmission routes in special purpose mobile radio networks based on fuzzy logic”, *Science and technology of air forces of the Armed Forces of Ukraine*, vol. 4, iss. 29, pp. 60-68, 2017.
- [7] A. Divitskyi, A. Storchak, A. Kramskyi, and S. Salnyk, “A method of learning data transmission routes in mobile radio networks”, *Information technology and security*, vol. 10, no. 1(18), pp. 60-71, 2022. doi: <https://doi.org/10.20535/2411-1031.2022.10.1.261175>.

SERHII SALNYK

NETWORKS METHOD OF HYBRID CONSTRUCTION AND SUPPORT OF DATA TRANSMISSION ROUTES IN PROGRAMMED TOOLS OF MOBILE RADIO COMMUNICATION BASED ON NEURAL NETWORKS

The article proposes a method of hybrid construction and support of data transmission routes in programmable means of mobile radio communication based on neural networks. Taking into account the peculiarities of the operation of mobile radio communication networks and means of communication, the article proposes to intellectualize the processes of managing data flows by using knowledge processing technologies in the construction of a control system. The construction of the control system is based on the use of neural networks, the methodology proposes three main steps of its construction, namely the method of hybrid construction of data transmission routes, the method of maintaining data transmission routes and modeling the process of construction and maintenance of data transmission routes in the network using neural networks .

Unlike similar methods, which: are used in stationary communication networks with a small number of end nodes, without the possibility of monitoring the functions of data transmission routes; which are characterized by the absence of a clear decision-making hierarchy and the presence of unpredictability when applied in data transmission systems of mobile radio communication networks; do not take into account the peculiarities of the functioning of mobile radio communications. The proposed technique is able to build data transmission routes, increases the time of network operation and reduces the loading of network channels based on the application of a hybrid structure of neural network construction, by minimizing service traffic in the information direction; selection of the type, number and method of control of data transmission routes; introduction of the hierarchy of the decision-making process for the construction of the data transmission route and the selection of data parameters, taking into account the characteristic features of the use of programmable mobile communication tools to ensure the given quality of network service under different conditions of operation of mobile radio communication tools, using neural networks.

Keywords: mobile radio communication, programmable means of communication, route construction, route maintenance, data transmission, hybrid structure, neural network.

Сальник Сергій Васильович, кандидат технічних наук, заступник начальника Науково-дослідного центру, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна, ORSID 0000-0003-4463-5705, s.sergey@i.ua.

Salnyk Serhii, candidate of technical sciences, deputy head of the Scientific Research Center, Institute of special communications and information security National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine.