Зв'язок, радіотехніка, радіолокація, акустика та навігація

УДК 004.056

DOI: 10.30748/zhups.2020.63.08

А.С. Дівіцький¹, Л.В. Боровик², С.В. Сальник¹, В.Д. Голь¹

¹Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського", Київ

²Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького", Хмельницький

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІН МАРШРУТІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В БЕЗДРОТОВИХ САМООРГАНІЗОВАНИХ МЕРЕЖАХ

В статті було проаналізовано сучасні дослідження в галузі прогнозування, які розглядають методи підтримання якості функціонування мобільних радіомереж та прогнозування часу перевантаження маршрутів передачі даних. Вказано основні фактори, які впливають на якість функціонування мобільних радіомереж такі як пульсація вхідного трафіка, рівень використання пропускну здатності ліній зв'язку, чутливість до затримок або втрат пакетів. Розглянуто методи прогнозування змін маршрутів передачі даних. Показано реалізацію класичних методів. Вказані їх переваги і недоліки, які визначають ефективність за різних умов застосування. На основі аналізу визначено доцільність проведення комбінювання інтелектуальних, причинно-наслідкових, формалізованих та інтуїтивних методів, а саме штучного інтелекту, еволюційних обчислень та управління параметрів. Враховуючи функціональні особливості побудови мобільних радіомереж та вимоги, що висувуються до методів, які розглянуті, можливим варіантом рішення є побудова методів заснованих на комбінюванні штучного інтелекту, еволюційних обчислень та управління параметрами, що в свою чергу надає можливість розробити нові методи з прогнозування змін маршрутів передачі даних в бездротових самоорганізованих мережах.

Ключові слова: мобільні радіомережі, військове призначення, зміна маршрутів передачі даних, прогнозування перевантаження, штучний інтелект.

Вступ

Постановка проблеми. На сьогоднішньому етапі розвитку телекомунікаційних мереж, які використовуються військовими формуваннями, а саме підрозділами Збройних Сил України, Національної гвардії України, Держспецзв'язку та іншими, завдання підтримки якості обслуговування мобільних радіомереж (МР) військового та спеціального призначення й прогнозування часу зміни маршрутів передачі даних є актуальним. Це обумовлено тим, що кожен тип трафіка, що передається в мережі, вимагає визначення параметрів захищеності, надійності, продуктивності, пропускну здатності, а також визначення вимог відносно якості прогнозування часу перевантаження та обслуговування мобільних радіомереж.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі методи підтримання якості функціонування мобільних радіомереж та прогнозування часу перевантаження маршрутів передачі даних у своїй біль-

шості застосовуються в провідних та комп'ютерних мережах, працюють на каналному та мережевому рівнях, де здійснюється управління чергами, контроль параметрів потоку трафіка, управління зворотнім зв'язком, боротьба з перевантаженнями, підтримання безпеки тощо.

Однак вказані методи не в повній мірі вирішують завдання, що відображаються у належній якості обслуговування та прогнозування часу змін маршрутів передачі даних.

Також швидкі темпи розвитку телекомунікаційних систем та бездротових самоорганізованих мереж вказують на недосконалість математичних моделей і методів, які не забезпечують повне, ефективне та безперебійне застосування засобів зв'язку, особливо військового та спеціального призначення [1].

Метою статті є проведення аналізу методів прогнозування змін (МПЗ) маршрутів передачі даних для визначення можливості їх застосування в мобільних радіомережах військового та спеціального призначення.

Виклад основного матеріалу

Черги трафіка є невід'ємною характеристикою мережі з комутацією пакетів. Поява черг трафіка означає появу затримок передачі пакетів мережею, а в деяких випадках може характеризуватися втратою пакетів через переповнення буфера комутатора або маршрутизатора.

Черги створюються на тих проміжках, на яких інтенсивність надходження пакетів більша за інтенсивність обслуговування. Це відбувається в тому випадку, коли затримка 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 швидше.

До основних факторів, які впливають на якість обслуговування МР, відноситься: пульсація вхідного трафіка, рівень використання пропускної здатності ліній зв'язку, чутливість до затримок або втрат пакетів та інші. В свою чергу користувач формулює множину вимог до якості обслуговування у вигляді граничних значень характеристик, які не повинні бути вищими за вихідні. Саме ці вимоги повинні бути враховані при розробці відповідних методів [2–4].

Сучасні методи забезпечення якості обслуговування використовують різні механізми, спрямовані на зниження негативних наслідків перебування пакетів в чергах із збереженням позитивної ролі черг. Більшість із них враховує та використовує в своїй роботі факт існування в мережі трафіка різного типу в тому відношенні, що кожен тип трафіка пред'являє різні вимоги до характеристик продуктивності і надійності мережі.

Методи забезпечення якості обслуговування засновані на перерозподілі наявної пропускної спроможності між трафіком різного типу відповідно до вимог додатків. Очевидно, що ці методи збільшують математичну складність та ускладнюють конструкцію мережевих пристроїв внаслідок врахування вимог множини класів трафіка, а також необхідність їх класифікації та розподілу.

До методів забезпечення якості обслуговування відносять методи: управління трафіком, прогнозування трафіка, зворотного зв'язку, зниження навантаження на мережу та інші [2–5].

Виходячи із вказаного, коректний підхід до оцінки якості обслуговування МР та методу прогнозування включає наступні етапи: вивчення природи досліджуваного об'єкта або процесу для вибору методу прогнозування; виділення груп даних; уточнення вихідних даних; використання отриманих результатів; уточнення і доповнення прогнозів; оцінка помилок прогнозів.

Найбільш вагомим критерієм, який впливає на ефективність функціонування МР, є саме виявлення помилок та похибок прогнозування. До найбільш часто встановлених помилок при прогнозуванні належать: середня абсолютна помилка; середнє абсолютне відхилення; відсоток середнього абсолютного відхилення; середньо квадратична помилка; середньо квадратична помилка прогнозу; середнє значення помилок.

Існуючі системи управління (СУ) використовують МПЗ, які не враховують особливостей функціонування МР військового призначення. Способи здійснення перевантаження маршрутів передачі даних в МР можуть включати в себе широкий спектр різних за своїм фізичним змістом та направленістю дій, спрямованих на порушення якості обслуговування та функціонування МР.

Це, в свою чергу, визначає наступні вимоги до МПЗ при їх застосуванні в МР військового призначення, а саме: наявність технології прийняття рішень, самонавчання, інтелектуалізації; можливість оптимізації підсистем і оснащення МПЗ на інших вузлах; можливість як автономного так і кооперованого функціонування; проведення аналізу трафіка; застосування при непередбачуваній мережевій активності; збільшення швидкості передачі даних та точності прогнозування; зменшення часу прогнозування [7–8].

Під прогнозуванням ми розуміємо, що в результаті розв'язання задачі з прогнозування змін маршрутів передачі даних в бездротових самоорганізованих мережах на основі особливостей існуючих даних оцінюються пропущені або майбутні значення цільових числових показників [9].

Проведемо аналіз існуючих МПЗ з метою визначення можливості їх застосування при побудові СУ, з урахуванням наведених вимог.

Аналіз методів прогнозування змін маршрутів передачі даних

Класифікація методів прогнозування змін маршрутів передачі даних наведена на рис. 1.

МПЗ поділяються на:

I. Інтелектуальні, на основі штучного інтелекту, де у більшості випадків розв'язання завдання невідоме наперед.

1.1. Низхідний, семіотичний – призначений для створення експертних систем обчислення, баз знань, систем логічного висновку та імітації високорівневих процесів.

1.2. Висхідний, біологічний – призначений для вивчення штучних нейронних мереж і еволюційних обчислень, що моделюють інтелектуальну поведінку на основі менших не інтелектуальних елементів.

1.2.1. Штучні нейронні мережі - це математична програмна модель, що побудована за принципом функціонування біологічних нейронних мереж – мереж нервових клітин живого організму.

1.2.2. Еволюційні обчислення – напрям в штучному інтелекті, який використовує та моделює біологічну еволюцію. Працюють за еволюційними принципами. Використовуються для завдань виду функціональної оптимізації та можуть бути описані на математичній мові.

1.2.3. Моделі інтелектуальної поведінки можуть представляти собою прості узагальнення або бути складними теоріями. Вони формують наші дії на основі певних параметрів та прогнозів.

II. Інтуїтивні, які застосовуються в випадках, коли неможливо врахувати вплив багатьох факторів через значну складність об'єкта прогнозування. В даному випадку використовуються:

2.1. Експертні – набір правил, які охоплюють знання експерта. Використання експертних систем являє собою поширений метод прогнозування, при якому інформація про трафік формулюється у вигляді правил. Експертна оцінка може бути використана індивідуально та колективно.

2.1.1. Індивідуальні: метод складання сценаріїв; метод аналітичних оцінок.

1.1.2. Колективні: метод опитувань; метод перевірок.

2.2. Комбіновані методи – поєднують кілька підходів до розробки МПЗ для створення найбільш повного уявлення про об'єкт прогнозування. Ці методи являють собою комбінацію різних типів систем [6–7].

Рис.1. Класифікація методів прогнозування змін маршрутів передачі даних.

III. Формалізовані, де моделі прогнозування визначають таку математичну залежність, яка дозволяє обчислити майбутнє значення процесу, тобто зробити прогноз. В цілому вказана категорія методів поділяється на:

3.1. Часові ряди, які являють собою математичні моделі прогнозування, які прагнуть знайти залежність майбутнього значення від минулого в рамках самого процесу і на основі цієї залежності побудувати прогноз.

Ці моделі універсальні для різних предметних областей, тобто їх загальний вигляд не змінюється в залежності від природи тимчасового ряду.

Дані методи поділяються на: ковзаюче середнє; зважена змінна середня; фільтр Калмана; експоненціальне згладжування; екстраполяція; лінійне прогнозування.

3.1.1. Структурні або якісні методи, в яких залежність майбутнього значення від минулого задається у вигляді певної структури і правил переходу по ній. Дані методи засновані на думці і судженні експертів. Якісні методи підходять тоді, коли відсутні історичні дані. Ці методи застосовуються, для середньострокових і довгострокових рішень. Прикладами якісних методів є історична аналогія життєвого циклу, на базі ланцюгів Маркова, на базі класифікаційно-регресивних дерев рішень, нейромеревеві моделі та інші.

3.1.2. Статистичні методи є універсальними, оскільки для проведення аналізу не потребують знань про характеристики мережі. Дані методи використовуються для прогнозування даних у вигляді функції від історичних даних. Вони підходять для використання, коли

історичні числові дані доступні і коли очікується збереження динаміки даних в майбутньому.

До даних методів належать: кореляційний аналіз, регресійний аналіз, факторний аналіз, розпізнавання образів, варіаційне числення, спектральний аналіз, алгебра логіки, теорія ігор, вибіркова максимальна подібність та інше [6–7].

3.1.3. Інтерполяцією називають метод знаходження невідомого рівня в межах ряду динаміки. При цьому враховують закономірність зміни показника у часі, що сформувалася у певному інтервалі. Інтерполяцію здійснюють на основі двох суміжних з невідомим рівнів ряду динаміки, або з використанням середніх показників динаміки.

3.1.4. Екстраполяція – це метод знаходження значення показника за межами відомого ряду динаміки. Цей метод передбачає поширення тенденції ряду у минуле або майбутнє, тому розрізняють ретроспективну та прогнозну екстраполяцію. Екстраполяція здійснюється на основі середніх показників ряду динаміки або з допомогою рівняння тренду.

3.1.5. Кореляційно-регресійний метод проводить розрахунки на основі кореляційних моделей, які підвищують ступінь точності аналізу, часто виявляють недоліки попереднього аналізу. Перевага цього методу в тому, що він дає можливість розв'язувати задачі, які не можна вирішити за допомогою інших методів аналізу.

3.1.6. Метод факторних моделей застосовується для вивчення взаємозв'язків між значеннями змінних, що впливають на технологічні процеси, апарати. Це метод аналізу впливу окремих факторів на результативний показник.

3.2. Предметна область, являє собою математичні моделі прогнозування, для побудови яких використовуються залежності, властиві конкретній предметній області. Такого роду моделям властивий індивідуальний підхід в розробці.

3.2.1. Управління чергами. Застосовується для роботи в періоди перевантажень, коли мережевий пристрій не справляється з передачею пакетів на вихідний інтерфейс в тому темпі, в якому вони поступають.

Якщо причиною перевантаження є недостатня продуктивність процесорного блоку мережевого пристрою, то необроблені пакети тимчасово накопичуються у вхідній черзі відповідного вхідного інтерфейсу. До методів належать: зважених черг, підхід FIFO, пріоритетне обслуговування, комбіноване кондиціонування трафіка.

3.2.2. Управління параметрами. Класифікація трафіка дозволяє визначити, які пакети потрібно відправити в ту чи іншу чергу. Для класифікації використовуються ознаки пакетів, наприклад: адреси призначення, джерела, тип протоколу.

3.2.3. Зворотного зв'язку. Цей механізм заснований на використанні зворотного зв'язку, за допо-

могою якого перевантажений вузол мережі, просить попередні вузли, розташовані уздовж маршруту проходження потоку, тимчасово знизити швидкість трафіка. До методів належать механізми: між кінцевими вузлами мережі; між сусідніми комутаторами; між комутатором і вузлом-джерелом; контролем допуску в мережу потоку [5; 9–10].

IV. Причинно-наслідкові, які враховують зв'язки прогнозування перевантажень маршрутів передачі даних, та мають достатньо широкий набір методів для вирішення поставленого завдання, до яких належать:

4.1. Регресійний аналіз – містить в собі групу методів для прогнозування показників, сюди входять параметричні методи і не параметричні методи.

4.2. Екзогенні, які використовують змінні, що задаються з зовні, значення яких отримуються поза моделлю.

4.3. Авторегресії змінного середнього з екзогенними вхідними даними, авторегресії змінного середнього, інтегрована модель авторегресії змінного середнього;

4.4. Ендогенні, які використовують змінні значення, які формуються всередині моделі.

4.5. Методи експертних оцінок, до яких належать: складові прогнози, прогноз по аналогії, побудова сценаріїв, прогнозування.

4.6. Методи штучного інтелекту. В даний час по даній категорії активно застосовуються такі методи в спеціалізованих програмах як: інтелектуальний аналіз даних, машинне навчання, розпізнавання образів [6–11].

Реалізація методів: за основу існуючих методів прогнозування покладені принципи функціонування, які розроблені для провідних або комп'ютерних мереж зв'язку з метою підтримання якості обслуговування мереж, в яких вони використовуються. Розглянемо детальніше деякі з них.

В [19–20] викладено метод прогнозування за допомогою нейронних мереж. Сутність даного методу в тому, що дані про поведінку об'єкта, ознаки якого пов'язані з часом, представлені як результати спостережень в рівномірні відліки часу. Для моментів часу $t = 1, 2, \dots, n$ дані спостережень набувають вигляду часового ряду $x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n)$. Інформація про значення часового ряду до моменту n дозволяє давати оцінки параметрів $x(t_{n+1}), x(t_{n+2}), \dots, x(t_{n+m})$. Для здійснення прогнозування елементів часових рядів широко використовують так званий метод “часових вікон”. Недоліком даного методу можна вважати необхідність спеціалізованого програмного інструментарію; складність інтерпретації нейронних мереж та недетермінованість, так звана “скринька Пандори”, в якій логіка внутрішніх процесів схована від людини.

В [21] представлено метод прогнозування за допомогою нечітких нейронних мереж, в якому важливим параметром для побудови нейронної мережі є алгоритм оптимізації та здатність до навчання.

Алгоритм оптимізації є важливим для побудови нейромережі, адже він може усунути помилки у процесі формування навчальної множини та пришвидшити навчання. Тому обрано алгоритм ліквідації вхідних компонентів.

Роботу нейронної мережі оцінюють на основі реакції відносно простих однотипних елементів, де кожний із нейронів містить синапси (однонаправлені вхідні сигнали $x_1, \dots, x_n$, зв'язані з іншими прихованими нейронами) та аксон (вихідні значення $y_1, \dots, y_m$, зв'язані як з прихованими, так і з вхідними нейронами).

Даний метод не дозволяє однозначно визначити внесок кожного параметру мережі. Для цього існують алгоритми “витягу знань”, які формалізують список логічних правил, створюючи на основі мережі експертну систему. Проте ці алгоритми не вбудовуються в нейромережеві пакети, а набори правил, які генеруються такими алгоритмами, досить об'ємні.

В [22–23] розглянуто метод прогнозування на основі еволюційних обчислень. У його основі лежить використання еволюційних принципів для пошуку оптимального розв'язання.

Генетичні алгоритми в основному застосовуються для розв'язання задач оптимізації, тобто задач, у яких є деяка функція декількох змінних $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ і необхідно знайти або її максимум, або її мінімум. Функція F називається цільовою функцією, а змінні – параметрами функції.

Генетичні алгоритми “пришиваються” до даної задачі в такий спосіб. Параметри задачі є генетичним матеріалом – генами. Сукупність генів складає хромосому. Кожна особа має свою хромосому, а, отже, свої набори параметрів. Підставивши параметри в цільову функцію, можна одержати якесь значення.

В [5; 12] зазначено метод комплексного управління різнотипними ресурсами транспортних пакетних оптичних мереж, побудованих відповідно до концепції програмного конфігурування. Метод передбачає виділення трьох основних підзадач: маршрутизації потоків на IP-рівні в умовах заданої віртуальної топології, перегляду вимог до цієї топології та формування нової структури світлових шляхів згідно до вимог трафіка, що надходить на обслуговування.

В [15–16] описано гібридний нечіткостохастичний метод прогнозування аномальних подій, заснований на використанні нечітких понять при побудові Марківської моделі з доходами, що дозволяє інтегрувати знання та якісні уявлення експерта про динаміку розвитку процесу на стадії навчання.

Показано, що використання такого методу дозволяє збільшити вірогідність виявлення особливих темпоральних патернів-провісників аномалій.

В [5; 13] зазначено метод балансування трафіка, заснований на використанні децентралізованої накладеної мережі, яка самоорганізується, з прогнозуванням інтенсивності вхідного трафіка, що дозволяє розподіляти надлишкове навантаження по маршрутах, не задіяних у випадку традиційної маршрутизації за найкоротшим шляхом.

В [5; 14] вказано методи оптимізації трафіка в мережах IP/MPLS з диференційованим обслуговуванням та розподілу багатопродуктивних потоків. Представлено алгоритм оптимізації мереж на основі множників Лагранжа.

В [17–18] методи детектування темпоральних аномалій в реконструйованих фазових просторах. Методи мають переваги: за рахунок використання нечіткої моделі підвищується рівень інтелектуалізації процесів і поліпшуються адаптаційні властивості системи прогнозування; за рахунок застосування нечітких кластерів з лінгвістичними значеннями параметрів з'являється можливість інтеграції експертних суджень і знань, що відбивають візуальні уявлення про розміщення патернів в просторі; забезпечується можливість кількісної оцінки результатів у вигляді прогнозування подій.

Кожен з описаних класичних та авторських методів, які застосовуються в сучасних системах прогнозування, має низку переваг і недоліків, які визначають їх ефективність за різних умов функціонування та при наявності відповідної цільової функції.

Однак, виходячи із мети, яка полягає в проведенні аналізу МПЗ для визначення можливості їх застосування в МР військового та спеціального призначення та з урахуванням множини вищезазначених вимог при побудові реальних МПЗ в безпроводових самоорганізованих мережах доцільно проводити комбінування інтелектуальних, причинно-наслідкових, формалізованих та інтуїтивних методів, а саме штучного інтелекту, еволюційних обчислень та управління параметрів.

Висновки

Проведений аналіз показав, що існуючі методи прогнозування змін в основному здатні вирішувати завдання з прогнозування станів для прийняття управлінських рішень у провідних або комп'ютерних мережах, що в свою чергу не задовольняє вищевказаним вимогам.

Враховуючи функціональні особливості побудови мобільних радіомереж та вимоги, що висуваються до методів, які розробляються, доцільним рішенням може бути розробка нових або удосконалення існуючих методів заснованих на комбінуванні штучного інтелекту, еволюційних обчислень та

управлінням параметрами, що в свою чергу надасть можливість побудувати методи прогнозування змін маршрутів передачі даних в бездротових самоорганізованих мережах.

Основними перевагами для можливого комбінування методів може бути: швидка адаптація системи управління до динамічних та децентралізованих умов функціонування мобільних радіомереж; можливість самонавчання; інтелектуалізації процесу

прийняття рішень; застосування при непередбачуваний мережевої активності; збільшення точності та зменшення часу прогнозування

У ході подальшої роботи будуть розроблені: методи ідентифікації, навчання баз знань та прогнозування часу зміни маршрутів передачі даних із застосуванням штучного інтелекту, еволюційних обчислень та управління параметрів.

Список літератури

1. Аналіз методів підтримки прийняття рішень в автоматизованих системах управління зв'язком військового призначення / В.В. Сальник, С.В. Сальник, К.В. Лукіна, В.П. Олексенко // Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – № 2(50). – С. 114-119.
2. Зайченко Ю.П. Задача распределения потоков различных классов в сети с технологией MPLS / Ю.П. Зайченко, А.М. Шарадка // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. – 2005. – № 43. – С. 113-123.
3. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е.А. Кучерявый. – СПб.: Наука и техника, 2004. – 336 с.
4. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
5. Бовда Е.М. Методи забезпечення якості обслуговування в сучасних телекомунікаційних мережах військового призначення / Е.М. Бовда, В.В. Сальник // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 2(51). – С. 85-94.
6. Лотов А.В. Многокритериальные задачи принятия решений / А.В. Лотов, И.И. Поспелова. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.
7. Офіційний сайт 1СВІТ.UA. Матеріали по вебінару “Прогнозирование”. Режим доступу: <http://www.1cbit.ru/>.
8. Система поддержки принятия решений в условиях неопределенности / Л.Н. Кислица, Р.Н. Кветный, В.Ю. Коцюбинский, Н.В. Казимирова // Сборник научных работ Военного Института Киевского национального университета им. Т. Шевченко. – 2009. – № 21. – С. 100-105.
9. Горелов В.Л. Основы прогнозирования систем / В.Л. Горелов, Е.Н. Мельникова. – М.: Высшая школа, 1986. – 287 с.
10. Hofmann M. Data Mining Use Cases and Business Analytics Applications / M. Hofmann, R. Klinkenberg, R. Miner. – Minneapolis: Chapman & Hall, 2013. – 525 p.
11. North M. Data Mining for the Masses [Електронний ресурс] / M. North. – Mountain View, California: A Global Text Project Book, – 2012. – 264 с. Режим доступу: <https://docs.rapidminer.com/downloads/DataMiningForTheMasses.pdf>.
12. Евсеева О.Ю. Математическая модель и метод комплексного управления ресурсами транспортной программно конфигурируемой сети / О.Ю. Евсеева, Е.Н. Ильяшенко, Е.Б. Ткачева // Проблемы телекоммуникаций. – 2016. – № 1(18). – С. 17-21.
13. Дорт-Гольц А.А. Разработка и исследование метода балансировки трафика в пакетных сетях связи / А.А. Дорт-Гольц. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. М.А. Бонч-Бруевича, 2014. – 124 с.
14. Будылдина Н.В. Оптимизация сетей с многопротокольной коммутацией по меткам / Н.В. Будылдина, Д.С. Трибунский, В.П. Шувалов. – М.: Телеком., 2010. – 144 с.
15. Суханов А.В. Прогнозування аномалії в послідовності даних / А.В. Суханов, С.М. Ковальов, В. Стіскала // Міжгалузева конференція “Учитель електротехнік” SEKEL 2014. – 2014. – С. 94-101.
16. Суханов А.В. Виявлення аномалії швидкої послідовності послідовностей / А.В. Суханов, С.М. Ковальов, Дж. Отипка // Документи WOFEX 2014, присвячені 12-му щорічному семінару. – 2014. – С. 287-293.
17. Ковалев С.М. Гибридная стохастическая модель обнаружения особых типов паттернов в темпоральных данных / С.М. Ковалев, А.Н. Гуда, М.А. Бутакова // Вестник РГУПС. – 2013. – № 3(51). – С. 36-42.
18. Стохастическая Марковская модель поиска аномалий в темпоральных данных / А.В. Суханов. – М.: Физматлит, 2013. – 177 с.
19. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника / Ф. Уоссермен. – М.: Світ, 1992. – 124 с.
20. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 382 с.
21. Коваленко О.В. Формування маркетингової стратегії розвитку галузі / О.В. Коваленко // Інтернаука. – 2017. – № 2(2). – С. 28-32.
22. Кононюк А.Ю. Нейронні мережі та генетичні алгоритми / А.Ю. Кононюк. – К.: Корнійчук, 2018. – 187 с.
23. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский. – М.: Телеком, 2006. – 452 с.

References

1. Salnyk, V.V., Salnyk, S.V., Lukina, K.V. and Oleksenko, V.P. (2017), “Analiz metodiv pidtrymky pryiniattia rishen v avtomatyzovanykh systemakh upravlinnia zv'язkom viiskovoho pryznachennia” [Analysis of methods of supporting decisions in automated military control management systems], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 2(50), pp. 114-119.

2. Zaichenko, Yu.P., Sharadka, A.M. (2005), "Zadacha raspredileniya potokov razlichnih clasov v seti s tehnologiyey MPLS" [The task of distributing streams of different classes in a network with MPLS technology], *Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*, No. 43, pp. 113-123.
3. Kucheryavy, E.A. (2004), "Upravlenie traficom i kachestvo obsluzhivaniya v seti Internet" [Traffic management and quality of service on the Internet], Science and Technology, St. Petersburg, 336 p.
4. Olifer, V.G. (2010), "Computernie seti. Princepi, tehnologii, protocoli" [Computer networks. Principles, technologies, protocols], Peter, St. Petersburg, 944 p.
5. Bovda, E.M. and Salnyk, V.V. (2017), "Metody zabezpechennia yakosti obsluhovuvannya v suchasnykh telekomunikatsiynykh mrezhakh viiskovoho pryznachennia" [Methods of ensuring quality of service in modern telecommunications networks for military purposes], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 2(51), pp. 85-94.
6. Lotov, A.V., Pospelova, I.I. (2008), "Mnogocriterialnie zadachi prinyatiya resheniy" [Multicriteria decision-making problems], MAX Press, Moscow, 197 p.
7. The official site of ICBIT.UA. (2015), Webinar materials "Forecasting", available at: www.lcbit.ru/ (accessed 08 January 2020).
8. Kislytsa, L.N., Kvetny, R.N., Kotsyubinsky, V.Yu. and Kazimirova, N.V. (2009), "Sistema poddergki prinyatiya resheniy v usloviyakh neopredelonnosti" [Decision support system in conditions of uncertainty], *Collection of Scientific Works of the Military Institute of Kiev National University of Taras Shevchenko*, No. 21, pp. 100-105.
9. Gorelov, V.L. Melnikova, E.N. (1986), "Osnovy prognozirovaniya sistem" [Basics of forecasting systems], Higher School, Moscow, 287 p.
10. Hofmann, M., Klinkenberg, R., (2013), *Data Mining Use Cases and Business Analytics Applications*, Chapman & Hall, Minneapolis, 525 p.
11. North, M., (2012), *Data Mining for the Masses*, A Global Text Project Book, Mountain View, California, 264 p., available at: www.docs.rapidminer.com/downloads/DataMiningForTheMasses.pdf.
12. Evseeva, O.Yu., Ilyashenko, E.N. and Tkacheva, E.B. (2016), "Matematicheskaya model i metod kompleksnogo upravleniya resursamy transportnoy programno konfigurirovomoy seti" [The mathematical model and method of complex resource management of a transport software-configured network], *Electronic Scientific Specialized Journal "Telecommunication Problems"*, No. 1(18), pp. 17-21.
13. Dort-Golts, A.A. (2014), "Razrabotka i isledovanie metoda balansirovki trafica v pacetnykh setyakh svyazi" [Development and research of a method of balancing traffic in packet packet networks], St. Petersburg State University of Telecommunications M.A. Bonch-Bruевич, St. Petersburg, 124 p.
14. Budyldina, N.V., Tribunsky, V.P. and Shuvalov, D.S. (2010), "Optimizatsiya setey s mnogoprotocolnoy komutatsiyey po metkam" [Optimization of networks with multi-protocol label switching], Telecom, Moscow, 144 p.
15. Sukhanov, A.V., Kovalev, S.M. and Stiskala, V. (2014), "Prognozuvannya anomalii v poslidovnosti danyh" [Predicting anomalies in the sequence of data], *Inter-industry Conference "Teacher of electrical engineers", SEKEL 2014*, pp. 94-101.
16. Sukhanov, A.V., Kovalev, S.M. and Otypka, J. (2014), "Vyjavlennja anomalii shvydkoy poslidovnosti poslidovnostey" [Detection of anomalies of fast sequence of sequences], *WOFEX 2014 Documents on the 12th Annual Seminar*, pp. 287-293.
17. Kovalev, S.M., Guda, A.N. and Butakova, M.A. (2013), "Gibridnaya stohasticheskaya model obnaruzheniya osobnykh tipov paternov v temporalnykh danykh" [Hybrid stochastic model for detecting special types of patterns in temporal data], *Bulletin of RGUPS*, No. 3(51), pp. 36-42.
18. Sukhanov, A.V. (2013), "Stohasticheskaya Markovskaya model poiska anomalii v temporalnykh danykh" [Stochastic Markov model of searching for anomalies in temporal data], *Fizmatlit, Moscow*, Vol. 1, p. 177.
19. Wasserman, F. (1992), "Neyrocomputerna tehnica" [Neurocomputer Technology], World, Moscow, 124 p.
20. Kruglov, V.V. and Borisov, V.V. (2001), "Iskustvennye neyronnye seti. Teoriya i practica" [Artificial neural networks. Theory and practice], Telecom, Moscow, 382 p.
21. Kovalenko, O.V. (2017), "Formuvannya marketynghovoi stratehii rozvytku haluzi" [Formal marketing marketing strategy galuzi development], *Internauka*, No. 2(2), 28 p.
22. Kononyuk, A.Yu. (2018), "Neyronni meregi ta genetichni alorytmy" [Neural networks and genetic algorithms], Kornychuk, Kyiv, 187 p.
23. Rutkovskaya, D., Pilinsky, M. and Rutkovsky, L. (2006), "Neyronnye seti, geneticheskie algoritmy i nehotkie sistemy" [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems], Telecom, Moscow, 452 p.

Надійшла до редколегії 10.01.2020

Схвалена до друку 11.02.2020

Відомості про авторів:**Дівіцький Андрій Сергійович**

старший викладач кафедри

Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації

Національного технічного університету України

"Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського",

Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-9261-9841>**Information about the authors:****Andriy Divicky**

Senior Lecturer of Institute

of Special Communications and Information Protection

of National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-9261-9841>

Боровик Людмила Володимирівна

доктор педагогічних наук доцент
завідувач кафедри Національної академії
Державної прикордонної служби
України ім. Б. Хмельницького,
Хмельницький, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2949-2187>

Liudmyla Borovyk

Doctor of Pedagogical Sciences Associate Professor
Head of Department of National Academy
of the State Border Guard Service
of Ukraine named after B. Khmelnytsky,
Khmelnytsky, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2949-2187>

Сальник Сергій Васильович

кандидат технічних наук
заступник завідувача кафедри
Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації
Національного технічного університету України
"Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського",
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4463-5705>

Sergey Salnyk

Candidate of Technical Sciences
Deputy Head of Department of Institute
of Special Communications and Information Protection
of National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Kyiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0003-4463-5705>

Голь Владислав Дмитрович

кандидат технічних наук доцент
доцент кафедри
Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації
Національного технічного університету України
"Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського",
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9995-9590>

Vladyslav Hol

Candidate of Technical Sciences Assistant Professor
Assistant Professor of Institute
of Special Communications and Information Protection
of National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9995-9590>

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ МАРШРУТОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ
В БЕСПРОВОДНЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЯХ**

А.С. Дивицкий, Л.В. Боровик, С.В. Сальник, В.Д. Голь

В статье были проанализированы современные исследования в области прогнозирования, которые рассматривают методы поддержания качества функционирования мобильных радиосетей и прогнозирования времени перегрузки маршрутов передачи данных. Указаны основные факторы, влияющие на качество функционирования мобильных радиосетей такие как пульсация входящего трафика, уровень использования пропускной способности линий связи, чувствительность к задержкам или потерь пакетов. Рассмотрены методы прогнозирования изменений маршрутов передачи данных. Показано реализацию классических методов. Указанные преимущества и недостатки, которые определяют их эффективность в различных условиях применения. На основе анализа определена целесообразность проведения комбинирования интеллектуальных, причинно-следственных, формализованных и интуитивных методов, а именно искусственного интеллекта, эволюционных вычислений и управления параметрами. Учитывая функциональные особенности построения мобильных радиосетей и требования, предъявляемые к методам рассмотренных, возможным вариантом решения является построение методов основанных на комбинировании искусственного интеллекта, эволюционных вычислений и управлением параметрами, в свою очередь дает возможность разработать новые методы по прогнозированию изменений маршрутов передачи данных в беспроводных самоорганизующихся сетях.

Ключевые слова: мобильные радиосети, военное назначение, изменение маршрутов передачи данных, прогнозирование перегрузки, искусственный интеллект.

**ANALYSIS OF METHODS FOR PREDICTING CHANGES IN DATA TRANSFER DATA
IN WIRELESS SELF-ORGANIZED NETWORKS**

A. Divicky, L. Borovyk, S. Salnyk, V. Hol

The article analyzes the current research in the field of forecasting, which examines the methods of maintaining the quality of MR operation and forecasting the time of congestion of data transmission routes. Traffic queues have been identified as an integral feature of packet-switched networks. The main factors that influence the quality of MR operation are such as the pulse of incoming traffic, the level of bandwidth utilization, sensitivity to delays or packet loss. The following are methods of ensuring the quality of traffic management services: traffic forecasting, feedback, reducing network load. The methods of forecasting changes of data transmission routes, which include intellectual, intuitive, formalized, cause-effect and principles of their operation and functioning, are considered. The implementation of classical methods is exemplified by the method of time prediction based on neural networks, fuzzy neural networks, evolutionary computations, complex control, hybrid fuzzy-stochastic method, traffic balancing, traffic optimization, and detection of temporal anomalies. The advantages and disadvantages that determine their effectiveness under different conditions of application are indicated. On the basis of the analysis the expediency of combining intellectual, cause-effect, formalized and intuitive methods, namely artificial intelligence, evolutionary calculations and parameter management, was determined. Considering the functional features of MR construction and the requirements for the methods considered, the solution is to build methods based on the combination of artificial intelligence, evolutionary calculations and parameter management, which in turn provides the opportunity to develop new methods for predicting changes in wireless data routing in wireless networks.

Keywords: mobile radio, military, change of data transmission routes, congestion forecasting, artificial intelligence.