

О. М. Воронець, В. М. Воронець, П. Є. Пустовойтов

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна

САМООРГАНІЗОВАНА МАРШРУТИЗАЦІЯ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ З УРАХУВАННЯМ ВТРАТ ВУЗЛІВ

Анотація. Актуальність. У сучасних телекомунікаційних мережах із динамічною топологією, відсутністю фіксованої інфраструктури та обмеженими ресурсами вузлів особливо актуальним є завдання побудови ефективних децентралізованих методів маршрутизації. Традиційні протоколи, що спираються на глобальну інформацію або централізоване управління, виявляються малостійкими до втрат вузлів і змін мережевої структури, що зумовлює необхідність розробки самоорганізованих моделей із локальним прийняттям рішень. **Об’єкт дослідження:** процеси маршрутизації трафіку в децентралізованих телекомунікаційних мережах. **Мета статті:** розробка та дослідження математичної моделі самоорганізованої маршрутизації, що забезпечує формування ефективних маршрутних структур на основі локальної взаємодії вузлів без централізованого управління та зберігає зв’язність мережі за умов динамічної зміни топології. **Результати дослідження.** У статті запропоновано модель децентралізованої маршрутизації, яка базується на ітеративному оновленні локальних маршрутних ваг у вузлах мережі з урахуванням просторової близькості та напрямкової узгодженості. Проведено аналітичний спектральний аналіз інтегрального рівняння оновлення ваг, що дозволив виявити домінуючі просторово-напрямкові моди, які визначають стійкі маршрутизовані структури. Результати імітаційного моделювання підтвердили здатність системи до самоорганізації, адаптації до втрати вузлів і автоматичної перебудови маршрутів без використання глобальної інформації про мережу. **Висновки.** Запропонована самоорганізована модель маршрутизації характеризується локальністю, адаптивністю та стійкістю до топологічних змін і збоїв. На відміну від традиційних протоколів маршрутизації, вона не потребує централізованого управління або глобального оновлення маршрутних таблиць, що зменшує обчислювальні витрати та підвищує масштабованість. Сфера використання отриманих результатів: безпроводні сенсорні мережі, мобільні Ad-hoc мережі, інфраструктури Інтернету речей та інші децентралізовані телекомунікаційні системи з динамічним навантаженням і обмеженими ресурсами вузлів.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, маршрутизація, математична модель, управління трафіком, вузли мережі, безпроводні сенсорні мережі.

Вступ

Постановка проблеми. У сучасних телекомунікаційних мережах, що характеризуються зростаючою складністю, динамічністю топології та відсутністю фіксованої інфраструктури, особливо актуальним стає питання побудови ефективних децентралізованих методів маршрутизації. Традиційні підходи, що базуються на централізованому оновленні таблиць маршрутів або потребують повного знання структури мережі, виявляють обмежену гнучкість і недостатню стійкість до втрат елементів. Особливо це стосується безпроводних сенсорних систем, мобільних Ad-hoc мереж та IoT-інфраструктур, де мережеві вузли можуть бути енергозалежними, рухомими або тимчасово недоступними.

У таких умовах особливу цінність мають моделі, які забезпечують локальне прийняття рішень та мають здатність до самоорганізації. Ці підходи дозволяють кожному вузлу діяти автономно, спираючись лише на інформацію від найближчих сусідів, що суттєво підвищує масштабованість і надійність мережі. Ідея полягає у створенні механізму, за якого маршрути формуються не заздалегідь, а як результат динамічної взаємодії між вузлами. У результаті така система природно адаптується до змін топології, змін навантаження або втрати частини структури без необхідності централізованої реконфігурації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У процесі дослідження проблеми побудови ефективних методів маршрутизації в телекомунікаційних мережах важливо враховувати сучасні наукові

підходи, які відображають світовий рівень розвитку цієї галузі.

Останні роки було опубліковано низку праць, що пропонують нові рішення для безпроводних сенсорних систем, мобільних Ad-hoc мереж, мереж Інтернету речей та 5G-інфраструктур. Огляд сучасної літератури дозволяє проаналізувати основні тенденції, виявити переваги та обмеження існуючих моделей і визначити напрями, у яких запропонована модель самоорганізованої маршрутизації може бути найбільш ефективною.

У роботі [1] запропоновано самоорганізовану мережу та метод маршрутизації для моніторингу стану залізничних тунелів. Перевагою є балансування енергоспоживання та автоматичне формування кластерів, що подовжує тривалість роботи мережі. Однак, метод орієнтований на лінійну топологію, що обмежує його застосування в інших сценаріях.

Дослідження [2] представляє адаптивний, безпечний та ефективний протокол маршрутизації для мобільних Ad-hoc мереж (MANET). Перевагою є інтеграція механізмів автентифікації, шифрування та виявлення вторгнень для забезпечення безпеки. Проте, складність реалізації та обчислювальні витрати можуть бути високими для обмежених ресурсами пристроїв.

У статті [3] проведено огляд протоколів маршрутизації для мобільного Інтернету речей (IoT), зокрема аналізується протокол RPL. Виявлено проблеми RPL при мобільності вузлів та розглянуто рішення для їх подолання. Перевагою є детальний аналіз існуючих підходів, але відсутні експериментальні результати.

тати для підтвердження ефективності запропонованих рішень.

У роботі [4] запропоновано стимулюючий децентралізований підхід до маршрутизації в мережах. Підхід спрямований на покращення продуктивності мережі шляхом наближення до системного оптимуму. Проте, необхідність стимулювання учасників може ускладнювати практичну реалізацію.

Стаття [5] представляє вдосконалення протоколів маршрутизації. Перевагою є підвищена стійкість до атак та збоїв, особливо в умовах перевантаження. Однак, інтеграція таких технологій може призвести до збільшення затримок та витрат ресурсів.

У дослідженні [6] розроблено енергоефективний кластерний протокол маршрутизації для бездротових сенсорних мереж, що поєднує алгоритми штучного бджолиного рою та мурашиної колонії. Перевагою є зменшення енергоспоживання та подовження тривалості роботи мережі. Проте, складність алгоритму може обмежувати його застосування в реальних умовах.

Робота [7] пропонує інтелектуальний протокол маршрутизації WOAD3QN-RP для бездротових сенсорних мереж, що інтегрує алгоритми рою та глибокого підкріплювального навчання. Перевагою є покращена адаптивність та ефективність маршрутизації. Однак, потреба у значних обчислювальних ресурсах може бути недоліком для пристроїв з обмеженими можливостями.

У статті [8] представлено покращений гібридний протокол маршрутизації (EHRP) для MANET, що поєднує протоколи OLSR, AOMDV та AODV. Перевагою є адаптація до змін мережевих умов та покращена продуктивність. Проте, складність інтеграції кількох протоколів може ускладнювати реалізацію та налаштування.

Дослідження [9] пропонує безпечний та енергоефективний підхід до маршрутизації в IoT, використовуючи покращену нечітку логіку типу 2, оптимізовану алгоритмом пошуку рептилій. Перевагою є баланс між безпекою та енергоефективністю. Однак, складність алгоритму може вимагати значних обчислювальних ресурсів.

У роботі [10] представлено покращений протокол маршрутизації для 5G mesh-мереж, що забезпечує ефективне та надійне встановлення шляхів між вузлами. Перевагою є децентралізований процес маршрутизації, що зменшує навантаження на мережу. Проте, ефективність протоколу може знижуватися в умовах високої мобільності вузлів.

Аналіз сучасних джерел показав, що більшість існуючих підходів орієнтовані на підвищення безпеки, енергоефективності та адаптивності, проте часто мають високу складність реалізації або залежать від глобальної інформації про мережу. Це підкреслює актуальність децентралізованих моделей із простою структурою та локальним управлінням, які здатні забезпечити стійку маршрутизацію в умовах динамічної топології.

Метою роботи є розробка математичної моделі самоорганізованої маршрутизації в телекомунікаційних мережах, яка здатна забезпечувати

ефективну передачу трафіку без централізованого управління, навіть за умов часткової втрати вузлів або змін топології. Такий підхід передбачає формування динамічної маршрутної структури на основі локальної взаємодії між вузлами мережі, що дозволяє зменшити вимоги до обчислювальних ресурсів, уникнути глобального синхронізованого оновлення маршрутної інформації та забезпечити масштабованість у великих мережах.

Основний матеріал

Розглядається математична модель децентралізованого управління трафіком у телекомунікаційній мережі, в якій вузли розташовані на двовимірній сітці або графі з локальними з'єднаннями.

Передача трафіку здійснюється через маршрути, кожен з яких характеризується напрямком та відповідною вагою.

Нехай $x \in \mathbb{R}^2$ позначає просторову позицію вузла, а $\alpha \in \mathbb{R}^2$ – напрямок потенційної передачі трафіку від вузла x . Вага маршруту $w(x, \alpha)$ відображає ймовірність або перевагу передачі трафіку в напрямку α з позиції x .

Оновлення ваг здійснюється на основі локальної взаємодії з оточенням. Зміна ваги $\Delta w(x, \alpha)$ описується інтегральним рівнянням, що враховує просторову близькість між вузлами, взаємодію між потоками та кореляцію напрямків передачі. У загальному вигляді рівняння має вигляд:

$$\Delta w(x, \alpha) = A(\Delta x) \times \int_{\mathbb{R}^2} \int_{\mathbb{R}^2} I(x-y) \cdot C(\alpha-\beta) \cdot w(y, \beta) d\beta dy, \quad (1)$$

де $A(\Delta x)$ – функція, яка визначає топологічну близькість між вузлами, $I(x-y)$ – функція взаємодії в мережі, а $C(\alpha-\beta)$ – функція, що відображає кореляцію між напрямками. Ця модель є повністю локальною: оновлення кожного маршруту залежить лише від інформації про найближче оточення та поточні значення ваг сусідніх вузлів.

Для аналітичного дослідження модель зручно переписати у відносних координатах. Запроваджуються змінні

$$\Delta x = x - y \quad \text{та} \quad \Delta \alpha = \alpha - \beta,$$

що дозволяє представити рівняння у вигляді згортки:

$$\Delta w(x, \Delta \alpha) = \left(\iint A(\Delta x) \cdot I(\Delta x) \cdot C(\Delta \alpha) \times w(x - \Delta x, \alpha - \Delta \alpha) \right) d\Delta \alpha d\Delta x. \quad (2)$$

Це формулювання дозволяє застосувати апарат спектрального аналізу. Оскільки рівняння є лінійним відносно функції w , розв'язок можна представити у вигляді ряду Фур'є за просторовими та напрямковими змінними:

$$w^{(t)}(x, \Delta \alpha) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k e^{if_k x} p_k(\Delta \alpha), \quad (3)$$

де f_k – просторові частоти, $p_k(\Delta\alpha)$ – напрямкові базисні функції, а a_k – часові коефіцієнти амплітуд. Такий підхід дозволяє виявити компоненти, які зростають найшвидше з часом, тобто ті, які відповідають найбільш стабільним маршрутним структурам у мережі.

Основною метою такого аналізу є виділення домінуючої компоненти – просторово-напрямкового режиму, який визначає переважну конфігурацію ваг після самоорганізації.

Саме ця компонента формує узгоджену топологічну структуру маршрутів у мережі, що забезпечує ефективне використання ресурсів, адаптивність до трафіку та стійкість до змін.

Аналітичні результати. На основі представленого інтегрального рівняння оновлення ваг здійснено спектральний аналіз моделі у просторі частот. Для цього розглядається дія інтегрального оператора на функцію маршрутизації, розкладену у базис Фур'є. Припускається, що всі функції, що входять у модель, є згортками і мають достатню гладкість та спадання, щоб забезпечити коректність перетворення Фур'є. Завдяки цьому рівняння набуває мультиплікативного вигляду в частотній області, що істотно спрощує подальший аналіз.

Оператор оновлення ваг у частотному представленні перетворюється на добуток спектральних функцій просторової взаємодії, напрямкової кореляції та власне вагової функції.

Позначимо відповідні перетворення як

$$A(f), \hat{I}(f) \text{ та } C(f),$$

де $f \in \mathbb{R}^2$ – вектор просторової частоти, а $k \in \mathbb{Z}$ – індекс напрямкової гармоніки. Тоді розклад ваги маршруту можна записати як:

$$w^{(t)}(x, \alpha) = \sum_k a_k(t) e^{if_k x} p_k(\alpha), \quad (4)$$

Інтегральний оператор діє на кожному компоненту незалежно, і зміна коефіцієнта $a_k(t)$ у часі має вигляд:

$$\frac{da_k(t)}{dt} = \lambda_k a_k(t), \quad (5)$$

де $\lambda_k = \hat{A}(f) \cdot \hat{I}(f) \cdot \hat{C}(k)$ – спектральний коефіцієнт підсилення для кожної компоненти. Таким чином, еволюція кожної компоненти визначається її власною швидкістю зростання. Найбільше значення λ_k відповідає домінуючій моді, яка з часом витісняє всі інші.

Цей результат означає, що за будь-яких початкових умов система тягнеться до стабільного режиму, який визначається тією комбінацією просторового частотного вектора та напрямкової гармоніки, що забезпечує максимальне підсилення. Така мода формує структурований розподіл маршрутів у мережі: у просторі спостерігається періодична або квазіперіодична організація маршрутних переваг, що відображає впорядковану передачу трафіку.

З математичної точки зору, отриманий результат свідчить про існування спектрального максимуму для функціонального оператора, що керує динамікою системи. Якщо функції $A(x)$, $I(x)$ та $C(\alpha)$ обрані таким чином, щоб мати чітко виражені максимум на певних частотах, система демонструє надійне самоорганізоване впорядкування.

Крім того, така структура забезпечує плавність переходу між різними маршрутними напрямками, а також адаптацію до змін трафіку, оскільки при зміні розподілу навантаження змінюється спектральний максимум, і система автоматично перебудовується на нову оптимальну конфігурацію.

У результаті модель демонструє властивості, необхідні для телекомунікаційної маршрутизації: локальність, адаптивність, стійкість та відсутність потреби в централізованому управлінні. Цей висновок має теоретичне значення для побудови нових класів децентралізованих протоколів маршрутизації, що базуються не на таблицях маршруту, а на динаміці локальних ваг.

Імітаційне моделювання. Для підтвердження аналітичних висновків було проведено чисельне моделювання процесу самоорганізації маршрутних ваг у дискретному варіанті запропонованої моделі. Мережу моделювали як регулярну двовимірну сітку розміром $N \times N$, де кожен вузол мав зв'язки з локальним оточенням – прямими сусідами по сітці. Для кожного вузла зберігалися ваги маршрутів у чотирьох фіксованих напрямках: вгору, вниз, вліво та вправо, які оновлювалися згідно з дискретизованим варіантом рівняння адаптації ваг.

Функції взаємодії було вибрано у вигляді:

$$A(\Delta x) = \exp\left(-\frac{\|\Delta x\|^2}{2\sigma^2}\right), \quad (6)$$

$$C(\Delta\alpha) = \exp\left(-\frac{\|\Delta\alpha\|^2}{2\delta^2}\right), \quad (7)$$

де параметри σ і δ визначають ступінь просторової та напрямкової локальності відповідно. Функція $I(\Delta x)$ бралася рівномірною в межах околу вузла для спрощення реалізації. Початкові значення ваг $w(x, \alpha)$ ініціалізувалися випадковими невеликими відхиленнями навколо середнього значення, що забезпечувало відсутність попередньо заданої структури.

Процес моделювання виконувався ітераційно, з фіксованим кроком часу. На кожному кроці всі вузли одночасно оновлювали свої маршрутні ваги відповідно до локального оточення. Для уникнення неконтрольованого зростання значень було введено нормалізацію ваг у кожному вузлі після оновлення, що гарантувало збереження сталої суми вихідних ймовірностей.

Результати моделювання демонструють формування впорядкованої карти напрямків трафіку. Спостерігається виникнення узгоджених зон, у яких ваги маршрутів орієнтовані в однаковому напрямку. У

центральної частини сітки з часом утворюється стійка домінуюча структура, що відповідає найшвидше зростаючій моді, виділеній в аналітичному аналізі. На периферії можуть залишатися локальні збурення, однак система виявляє тенденцію до поступової глобальної впорядкованості.

Аналіз часової динаміки показав, що після початкового перехідного періоду значення маршрутних ваг стабілізуються, а варіація між вузлами зменшується.

Домінуюча компонента у спектрі Фур'є, побудованому на основі карти напрямків, відповідає єдиному максимуму, що узгоджується з теоретично передбаченою модальною структурою.

Таким чином, результати імітаційного моделювання підтверджують здатність запропонованої моделі до формування самоорганізованої маршрутизованої структури.

Система адаптується до локальних збурень, демонструє стійку поведінку та відтворює узгоджену маршрутизацію без централізованого управління. Така поведінка є перспективною для побудови адаптивних протоколів маршрутизації в телекомунікаційних мережах з динамічним навантаженням.

На рис. 1 подано результати імітаційної моделі маршрутизації в регулярній двовимірній сітці розміром 8×8 вузлів без вилучених елементів. Кожен вузол має локальні маршрутні ваги, які відображено у вигляді стрілок, напрямком яких визначається переважним вектором передачі трафіку. Інтенсивність стрілки пропорційна значенню ваги для відповідного напрямку.

Видно, що маршрут від вузла-джерела у верхньому лівому куті до вузла-приймача у нижньому правому куті успішно побудовано, і він проходить через послідовність активних вузлів, що забезпечують зв'язність мережі.

Така конфігурація демонструє здатність мережі до організації ефективних маршрутів у відсутності пошкоджень або збоїв у роботі вузлів.

На рис. 2 представлено модель тієї ж телекомунікаційної мережі після вилучення групи центральних вузлів, зокрема у межах області 3×3 , що моделює втрату функціональності частини мережі.

Незважаючи на утворення перешкод у центрі сітки, маршрут між джерелом і приймачем продовжує існувати. Він автоматично змінює свою траєкторію, обходячи зону пошкодження завдяки локальній адаптації маршрутних ваг. Візуалізовані стрілки демонструють нову організацію напрямків передачі трафіку, які узгоджуються між собою та утворюють стійку структуру маршруту з урахуванням зміненої топології. Цей результат підтверджує здатність моделі до гнучкої перебудови маршрутів в умовах часткової втрати вузлів.

Рис. 3 відображає випадок, коли з мережі вилучено два вузли, розташовані у куткових точках сітки: у верхньому правому та нижньому лівому кутах. Вузли-джерело та приймач залишаються активними. Як видно з ілюстрації, маршрутизована структура успішно відновлюється шляхом локальної переорієнтації напрямків передачі.

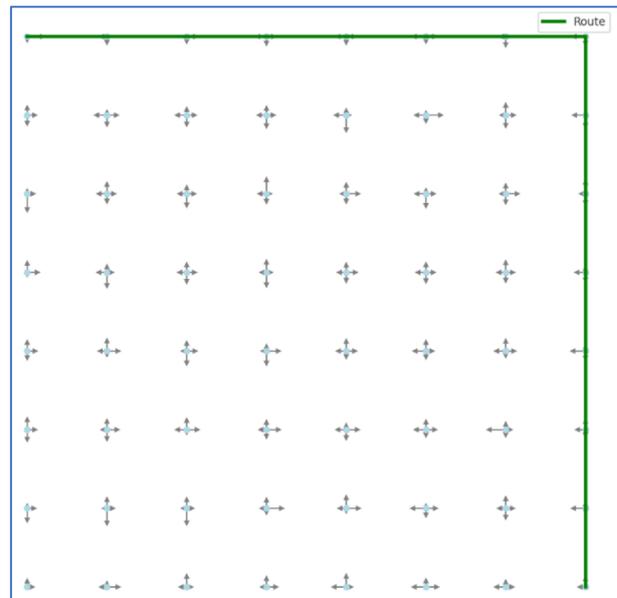


Рис. 1. Візуалізація маршрутизації у повній телекомунікаційній мережі без втрат вузлів

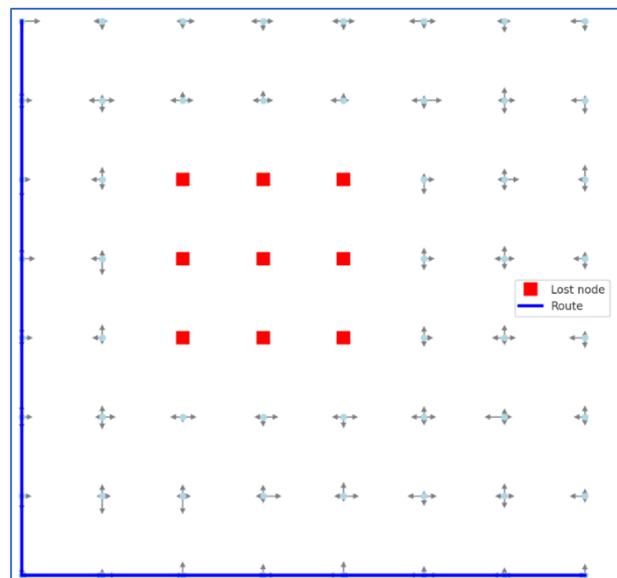


Рис. 2. Візуалізація маршрутизації у мережі з центральною втратою вузлів

Побудований маршрут огинає вилучені вузли та зберігає глобальну зв'язність системи. Адаптивна поведінка моделі забезпечує ефективне перенаправлення трафіку без потреби у централізованому втручанні, що свідчить про її стійкість до крайових відмов елементів.

Загальний аналіз побудованих візуалізацій підтверджує здатність запропонованої самоорганізованої моделі до формування узгоджених маршрутних структур навіть в умовах топологічних змін, спричинених вилученням окремих вузлів.

У всіх розглянутих випадках – як при збереженні повної мережі, так і при втраті центральних або куткових вузлів – модель забезпечує коректне перенаправлення трафіку, формуючи обхідні шляхи з опорою на локальну взаємодію між сусідніми вузлами.

3. Shah Z., Levula A., Khurshid K., Ahmed J., Ullah I., Singh S. Routing Protocols for Mobile Internet of Things (IoT): A Survey on Challenges and Solutions. *Electronics*. 2021. Vol. 10(19):2320. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics10192320>
4. Воронець В.М., Пустовойтов П.Є. Модель вузла електронної комунікації, що обслуговує тер-трафік. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава, НУ ПП, 2023. Т. 4 (74). С. 152-155. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.4.152>
5. Pustovoitov P., Voronets V., Voronets O., Sokol H., Okhrymenko M. Assessment of QOS indicators of a network with UDP and TCP traffic under a node peak load mode. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 1, no. 4(127). P. 23–31. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.299124>
6. Suh BeomKyu, Ismatov Akobir, Jian Kim, YongBeom Park, Ki-II Kim. A Resilient Routing Protocol to Reduce Update Cost by Unsupervised Learning and Deep Reinforcement Learning in Mobile Ad Hoc Networks. *Electronics*. 2025. Vol. 14(1):166. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics14010166>
7. Z. Wang, H. Ding, B. Li, L. Bao, Z. Yang. An Energy Efficient Routing Protocol Based on Improved Artificial Bee Colony Algorithm for Wireless Sensor Networks. *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. P. 133577-133596. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3010313>
8. Xuan Yang, Jiaqi Yan, Desheng Wang, Yonggang Xu, Gang Hua. WOAD3QN-RP: An intelligent routing protocol in wireless sensor networks – A swarm intelligence and deep reinforcement learning based approach. *Expert Systems with Applications*. 2024. Vol. 246:123089. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.123089>
9. Manhar A., Dembla D. Routing Optimizing Decisions in MANET: The Enhanced Hybrid Routing Protocol (EHRP) with Adaptive Routing based on Network Situation. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*. 2023. Vol. 11, no. 10s. P. 136–143. DOI: <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i10s.7606>
10. Савченко М.В., Шиман М.В. Метод аналізу завантаження вузлів кластеру MESH-мережі на основі математичної моделі мереж Джексона. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава, НУ ПП, 2025. Т. 1 (79). С. 201-204. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2025.1.201-204>

Received (Надійшла) 11.10.2025

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.01.2026

Publication date (Дата публікації) 27.02.2026

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Воронець Олександр Миколайович – аспірант кафедри системи інформації ім. В.О. Кравця, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;

Oleksandr Voronets – PhD Student, Department of Information Systems named after V. O. Kravets, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;

e-mail: Oleksandr.Voronets@infiz.khpi.edu.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0009-0005-5714-2370>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58986968300>.

Воронець Віталій Миколайович – доктор філософії, старший викладач кафедри «Системи інформації ім. В.О. Кравця», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;

Vitalii Voronets – PhD, Senior Lecturer, Department of Information Systems named after V. O. Kravets, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;

e-mail: Vitalii.Voronets@khpi.edu.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0002-7793-3824>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58986447800>.

Пустовойтов Павло Євгенович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри системи інформації ім. В.О. Кравця, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; Харків, Україна;

Pavlo Pustovoitov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Information Systems named after V. O. Kravets, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;

e-mail: Pavlo.Pustovoitov@khpi.edu.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0003-3884-0200>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55225675900>.

Самоорганізована маршрутизація в телекомунікаційних мережах з урахуванням втрат вузлів

Oleksandr Voronets, Vitalii Voronets, Pavlo Pustovoitov

Abstract. Relevance. In modern telecommunication networks with dynamic topology, lack of fixed infrastructure and limited node resources, the task of building effective decentralized routing methods is particularly relevant. Traditional protocols based on global information or centralized management are not resistant to node losses and changes in the network structure, which necessitates the development of self-organized models with local decision-making. **Object of research:** traffic routing processes in decentralized telecommunication networks. **Purpose of the article:** development and study of a mathematical model of self-organized routing, which ensures the formation of effective routing structures based on local interaction of nodes without centralized management and maintains network connectivity under conditions of dynamic topology changes. **Research results.** The article proposes a decentralized routing model based on iterative updating of local route weights in network nodes taking into account spatial proximity and directional consistency. Analytical spectral analysis of the integral equation of weight update was performed, which allowed to identify dominant spatial-directional modes that determine stable routed structures. The results of simulation modeling confirmed the ability of the system to self-organize, adapt to node loss and automatically rebuild routes without using global information about the network. **Conclusions.** The proposed self-organized routing model is characterized by locality, adaptability and resistance to topological changes and failures. Unlike traditional routing protocols, it does not require centralized management or global updating of route tables, which reduces computational costs and increases scalability. Scope of application of the obtained results: wireless sensor networks, mobile Ad-hoc networks, Internet of Things infrastructures and other decentralized telecommunication systems with dynamic load and limited node resources.

Keywords: telecommunication network, routing, mathematical model, traffic management, network nodes, wireless sensor networks.