

**ВІДГУК****офіційного опонента**

доктора технічних наук, професора Ложковського Анатолія Григоровича, завідувача кафедри комутаційних систем Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова на дисертаційну роботу Пиріг Юлії Володимирівни «Моделі та алгоритми маршрутизації інформаційних потоків в самоорганізованих мережах», подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

**Актуальність теми дисертації**

Сучасний етап розвитку суспільства характеризується швидким розвитком інформаційних мереж, ускладненням їх структур, розширенням типів і збільшенням об'єму переданого трафіку. Зараз областю безпроводних систем передачі даних і мереж зв'язку, яка активно розвивається, є самоорганізовані мережі. Використання мереж такого роду є одним з рішень для організації мереж зв'язку при відсутності телекомунікаційної інфраструктури. Самоорганізовані мережі все частіше застосовуються у різних галузях. Важливо те, що вузли такої мережі повинні автоматично підлаштовуватися під поточну топологію мережі, надавані послуги, навантаження тощо. При цьому має забезпечуватись належна якість обслуговування користувачів мережі з урахуванням децентралізованого управління, мобільності вузлів та ненадійності радіоканалів.

Отже, враховуючи вищепредставлені особливості самоорганізованих безпроводних мереж, оптимальний вибір методу маршрутизації з урахуванням множини факторів різного роду і технічних умов дає змогу збільшити продуктивність таких мереж та забезпечити надання послуг з необхідним рівнем якості обслуговування.

У зв'язку з цим удосконалення методів маршрутизації інформаційних потоків у самоорганізованих мережах в умовах збільшення кількості мережних вузлів, зміни їх розташування, та нестабільності рівня шумів у радіоканалах є актуальним науковим завданням.

## Загальна характеристика роботи

Дисертаційна робота Пиріг Юлії Володимирівни присвячена вирішенню завдання удосконалення методів маршрутизації інформаційних потоків у самоорганізованих безпроводних мережах шляхом покращення часових параметрів маршрутизації та передавання інформації в умовах динамічного зростання інтенсивності її потоків і нестабільності рівня шумів у радіоканалах.

Дисертаційна робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний обсяг роботи становить 158 сторінок друкарського тексту, із них 113 сторінок основного тексту. Список використаних джерел містить 121 найменування.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, показано зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету і визначено основні завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження, подано наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів, наведено відомості про апробацію результатів роботи та публікації за темою дисертації.

У першому розділі проведено аналіз методів та особливостей маршрутизації у безпроводних самоорганізованих мережах. Встановлено, що у самоорганізованих мережах в основному використовуються децентралізовані локальні схеми маршрутизації, у яких кожен вузол окремо приймає рішення про перенаправлення повідомлень, яке базується на інформації про його найближчих сусідів. Таким чином, важливим аспектом при передаванні даних є питання ефективності маршрутизації, яке безпосередньо впливає на збалансованість та рівномірність використання ресурсів радіоканалів самоорганізованих мереж.

У другому розділі запропоновано моделі та методи покращення параметрів якості надання послуг в мережах із самоорганізацією. Авторкою представлено: удосконалені метод локалізації вузлів мережі з використанням діаграм потужності Вороного з правильними взаємозв'язками суміжності та метод кластеризації сенсорних вузлів із урахуванням моделі поширення сигналу в радіоканалі; модель визначення станів телекомунікаційної мережі з використанням тензорного представлення її топологічної структури.

У третьому розділі проведено моделювання структури безпроводної мережі для перевірки ефективності передавання інформаційних потоків із

використанням розроблених у дисертації методів та алгоритмів. Також авторкою запропоновано модель зони перекриття кластерів у самоорганізованих мережах з застосування схеми перепризначення логічних адрес мережним вузлам, які функціонують у цих кластерах. Отримані результати моделювання при використанні удосконаленого алгоритму кластеризації та методу локалізації вузлів показали, що середній час пошуку маршруту значно зменшився.

У четвертому розділі розроблено комплексний метод маршрутизації на основі знаходження глобального екстремуму функції впорядкованого випадкового пошуку з додаванням/видаленням вузла. Показано, що його застосування дає змогу досягти зменшення тривалості пошуку маршруту.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, наданих в дисертації, їхня достовірність**

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Пиріг Юлії Володимирівни, базується на тому, що:

- отримані результати не суперечать класичним положенням систем безпровідного зв'язку;
- достовірність отриманих здобувачем науково-практичних результатів підтверджено актами впровадження у телекомунікаційних компаніях;
- основні наукові результати і положення дисертації доповідались та всебічно обговорювались на 9-ти міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях, наукових семінарах та симпозіумах, де отримали позитивну оцінку.

### **Наукова новизна результатів дисертаційних досліджень**

1) Вперше запропоновано комплексний метод маршрутизації на основі знаходження глобального екстремуму функції впорядкованого випадкового пошуку з додаванням/видаленням вузла, що, на відміну від існуючих, дав змогу утворювати множину маршрутів та здійснювати її послідовне упорядкування за критерієм максимізації рівня QoS з урахуванням неоднорідності у мережі.

2) Удосконалено метод локалізації вузлів сенсорної мережі, який, на відміну від існуючих, базується на алгоритмічному підході Терстона з



використанням діаграми потужності Вороного з правильними взаємозв'язками суміжності, що дало змогу підвищити точність визначення віртуальних координат при застосуванні канонічного одиничного диску Пуанкаре, покращуючи якість розв'язання завдань маршрутизації в евклідовому просторі.

3) Удосконалено метод кластеризації сенсорних вузлів для зменшення тривалості пошуку маршруту між довільною їх парою, який, на відміну від існуючих, передбачає визначення центроїда кластера із урахуванням моделі поширення сигналу в радіоканалі.

4) Набула подальшого розвитку модель зони перекриття кластерів у самоорганізованих мережах, яка, на відміну від існуючих, дає змогу застосувати схему перепризначення логічних адрес мережним вузлам, які функціонують у цих кластерах, і забезпечувати необхідний рівень якості обслуговування у разі програмних чи апаратних збоїв.

### **Наукове і практичне значення результатів, отриманих в дисертаційній роботі**

Отримані в межах дисертаційного дослідження результати дають змогу теоретично обґрунтувати тип прийнятно-передавальних пристроїв і вимоги до протоколів маршрутизації на етапі проектування мережі, а при її експлуатації – виконувати їх математично-програмне удосконалення для покращення часових параметрів обслуговування інформаційних потоків.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:

1. Із застосуванням удосконаленого методу локалізації вузлів мережі вдалося забезпечити ефективність жадібної енергетичної маршрутизації на рівні 1,25 коефіцієнта еластичності за рахунок підвищення точності визначення віртуальних координат.

2. Розроблено метод кластеризації сенсорних вузлів, який дає змогу зменшити тривалість пошуку маршруту до 1,6 разів шляхом урахування в метриці шляху значення Евклідової відстані та рівня сигнал/шум у радіоканалі (розрахованого на основі моделі поширення радіосигналу), при цьому в тих самих умовах, завдяки впровадженню методу локалізації вузлів та розробленого алгоритму кластеризації, вдалося досягти зменшення тривалості пошуку маршруту між довільною парою вузлів до 4,5 разів.

3. Доведено, що застосування методу кластеризації з урахуванням моделі поширення сигналу дає змогу зменшити значення коефіцієнту бітових помилок всередині кластеру на 7% завдяки більш ефективному використанню пропускнуої здатності радіоканалу.

4. Завдяки можливості виконання локального відновлення маршруту за рахунок зміни схеми перепризначення логічних адрес у разі програмно-апаратних збоїв вдалося знизити затримку передавання даних на 5 % у порівнянні з традиційними протоколами маршрутизації.

5. Розроблено спосіб оптимізації найкоротших шляхів в безпроводній самоорганізованій мережі, впровадження якого забезпечило зменшення затримки передавання даних від вузла-джерела до вузла-отримувача до 2 разів.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у галузі телекомунікацій на профільних підприємствах.

#### **Повнота викладу наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих працях**

За результатами проведених дисертаційних досліджень опубліковано 15 наукових праць, серед них 1 стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, що включена до наукометричної бази даних; 5 статей у наукових фахових виданнях України, що індексуються міжнародними наукометричними базами; та 9 праць у збірниках матеріалів і тез доповідей міжнародних та всеукраїнських конференцій, з яких 6 індексовано у наукометричній базі Scopus.

Опубліковані праці в повній мірі відображають матеріали дисертаційної роботи.

#### **Відповідність дисертації встановленим вимогам**

Оформлення дисертації відповідає вимогам до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Дисертаційна робота Пиріг Юлії Володимирівни написана сучасною науково-технічною мовою, послідовно та логічно. Автореферат дисертації достатньо повно розкриває її зміст. Стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень та висновків забезпечує доступність їх сприйняття.



### Зауваження до дисертаційної роботи

1. При описі видів самоорганізованих мереж доцільно було здійснити порівняння їхніх переваг та недоліків між собою.

2. Оцінка доцільності впровадження пропонованої моделі маршрутизації здійснювалась при передачі тільки голосових даних, для максимальної повноти оцінки її ефективності доцільно було б розглянути і інші види трафіку, які передаються по самоорганізованим мережам.

3. Незрозуміло чому в моделі визначення станів телекомунікаційної мережі з використанням тензорного представлення топологічної її структури в якості параметра мережі розглядається навантаження між вузлами, в той час як в модифікованих алгоритмах маршрутизації – час доставки даних від вузла-джерела до вузла-отримувача.

4. На рис. 3.1 та 3.2 відсутні позначення на осях.

5. Не аргументовано, чому в запропонованому комплексному методі маршрутизації інформаційних потоків не використано модифікований генетичний алгоритм.

6. На рисунках серії «Узагальнена характеристика тривалості пошуку маршруту...» представлено графічні позначення, які не пояснені в тексті роботи.

7. У роботі не вказано на основі чого оцінюється достовірність результатів, отриманих з використанням програмного симулятора.

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### Загальні висновки

1. Дисертаційна робота Пиріг Юлії Володимирівни на тему «Моделі та алгоритми маршрутизації інформаційних потоків в самоорганізованих мережах» є самостійною, завершеною науковою працею, що містить нові науково обґрунтовані результати, важливі для подальшого розвитку самоорганізованих мереж.

2. В дисертаційній роботі представлено розв'язання актуального завдання удосконалення методів маршрутизації інформаційних потоків у самоорганізованих безпроводних мережах шляхом покращення часових

параметрів маршрутизації та передавання інформації в умовах динамічного зростання інтенсивності її потоків і нестабільності рівня шумів у радіоканалах.

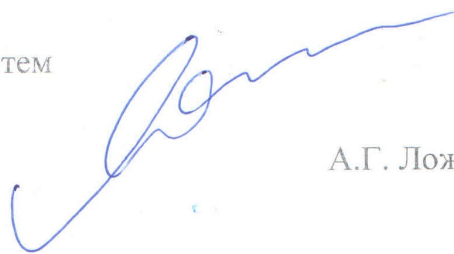
3. Дисертаційна робота за змістом відповідає паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

4. Матеріали дисертації достатньо апробовані, доповідались на міжнародних у всеукраїнських конференціях, представлені у наукових публікаціях.

5. Автореферат ідентично та з необхідною повнотою відображає зміст і основні положення дисертації.

6. За актуальністю, оригінальністю, обсягом, повнотою та рівнем розв'язання наукових та практичних завдань, новизною та практичною цінністю отриманих результатів, дисертаційна робота «Моделі та алгоритми маршрутизації інформаційних потоків в самоорганізованих мережах» відповідає вимогам МОН України, зокрема пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» Кабінету Міністрів України, а її автор, Пиріг Юлія Володимирівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент  
доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри комутаційних систем  
Одеської національної академії  
зв'язку ім. О.С. Попова



А.Г. Ложковський

