

Моделювання та аналіз бездротових мереж

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглядаються підходи до моделювання бездротових мереж із урахуванням їх типів, топологій та сучасних інструментів симуляції. Проведено порівняльний аналіз аналітичного, імітаційного, геометричного, емпіричного та гібридного методів моделювання, а також об'єктно-орієнтованого та агентно-орієнтованого підходів. Оцінено вплив топології на продуктивність мереж, а також критерії вибору моделей з урахуванням точності, швидкодії та масштабованості.

Ключові слова: бездротові мережі, сенсорні системи, моделювання, топологія, агентно-орієнтовані моделі, кластерні мережі.

Abstract

The paper examines approaches to modeling wireless networks considering their types, topologies, and modern simulation tools. A comparative analysis of analytical, simulation, geometric, empirical, and hybrid modeling methods is conducted, as well as object-oriented and agent-based approaches. The impact of topology on network performance is evaluated, along with criteria for selecting models based on accuracy, speed, and scalability.

Keywords: wireless networks, sensor systems, modeling, topology, agent-based models, cluster networks

Вступ

У сучасному цифровому світі бездротові мережі відіграють ключову роль у забезпеченні мобільного та високошвидкісного доступу до інформаційних ресурсів. Вони є основою для таких технологій, як Wi-Fi, мобільний зв'язок (3G, 4G, 5G), інтернет речей (IoT), розумні міста та автономні системи. Зростання обсягів переданих даних і кількості пристроїв вимагає ефективного проєктування, оптимізації та тестування бездротових мереж ще на етапі розробки[1]. У цьому контексті надзвичайно важливою є роль моделювання та аналізу.

Метою цієї роботи є узагальнення підходів до моделювання бездротових мереж, характеристика їх основних типів, аналіз актуальних інструментів моделювання та визначення впливу топології на функціонування мереж.

Серед основних типів бездротових сенсорних мереж (WSN) виділяють: наземні (екологічний моніторинг, сільське господарство), підземні (моніторинг ґрунту, трубопроводів), підводні (морські дослідження, акустичний зв'язок), мультимедійні (відео- та аудіодані, відеоспостереження) та мобільні мережі (автономні вузли на транспортних платформах, дронах)[2].

Моделювання бездротових мереж дозволяє створювати цифрові копії майбутньої мережі, досліджувати її поведінку в різних умовах, аналізувати критичні параметри — пропускну здатність, затримки, стійкість до збоїв — без необхідності фізичного впровадження. Це особливо важливо в системах з обмеженими ресурсами або складними умовами роботи.

Результат дослідження

Результати дослідження та порівняльний аналіз підходів до моделювання бездротових мереж

У результаті проведеного дослідження було виконано комплексний аналіз підходів до моделювання бездротових мереж із урахуванням типів мереж, топологій, інструментів симуляції та способів відображення поведінки системи. Основну увагу приділено можливостям сучасних симуляторів (NS-3, OMNeT++, Cisco Packet Tracer) та ефективності різних моделей у контексті проєктування та аналізу WSN.

Було розглянуто п'ять основних підходів до моделювання: аналітичне, імітаційне, геометричне, емпіричне та гібридне. Кожен з них має свої переваги та обмеження, тому вибір конкретного підходу залежить від цілей дослідження та специфіки задачі.

Аналітичне моделювання дозволяє швидко оцінити базові параметри мережі (наприклад, пропускну здатність, середню затримку, ймовірність втрат пакетів) з використанням математичних формул. Його переваги — швидкість і мінімальні ресурси, але він не враховує зміну умов середовища. Тому аналітичні моделі доцільно використовувати на початковому етапі — для попередньої оцінки навантаження, визначення граничних значень та перевірки гіпотез.

Імітаційне моделювання (симуляція) є найбільш точним методом, який дозволяє врахувати реальні аспекти роботи мережі: мобільність вузлів, маршрутизацію, перешкоди, динаміку трафіку. Середовище NS-3, наприклад, дає змогу створювати точні сценарії з детальною поведінкою системи. Недоліки — потреба у складній конфігурації, великих обчислювальних ресурсах та часу на симуляції. Такий підхід оптимальний для аналізу складних і динамічних мережевих сценаріїв.

Геометричне моделювання використовується для просторового розміщення вузлів та оцінки зон покриття. Воно є зручним для планування мереж (наприклад, Wi-Fi покриття), але не враховує фактори реального середовища, як-от завади або зміни трафіку. Цей підхід доцільний на етапі планування топології.

Емпіричне моделювання базується на реальних вимірюваннях (сигнал, затримка, втрати) і дозволяє створювати точні моделі в конкретних умовах (будівлі, відкриті простори). Воно корисне для калібрування симуляцій та валідації моделей, але потребує спеціального обладнання і затрат часу.

Гібридне моделювання поєднує сильні сторони кількох підходів. Наприклад, аналітичні оцінки можуть задавати граничні умови, а симуляція деталізує роботу мережі. Цей підхід є найгнучкішим і дозволяє досягти балансу між точністю, продуктивністю та ресурсами. Його доцільно використовувати у великих проєктах або при моделюванні адаптивних мереж.

У дослідженні було також порівняно агентно-орієнтоване моделювання (ABM) та об'єктно-орієнтоване моделювання, які реалізуються у відповідних середовищах. ABM краще підходить для моделювання адаптивної поведінки вузлів у динамічних мережах, зокрема IoT [3]. Натомість об'єктно-орієнтований підхід доцільний у системах із чіткою структурою та ієрархією — наприклад, у кластерних WSN[4].

Під час моделювання було відтворено типові сценарії для мереж Wi-Fi (зіркова топологія) та кластерних сенсорних мереж із використанням стандартів IEEE 802.11. З'ясовано, що вибір топології суттєво впливає на продуктивність: затримки, пропускну здатність і втрати пакетів. Наприклад, у мережах із високою щільністю користувачів зіркова топологія призводить до перевантаження центрального вузла.

Також було проаналізовано моделі втрат сигналу, вплив перешкод, а також сценарії зміни параметрів середовища. Геометричні моделі показали свою ефективність на етапі проєктування, проте імітаційні — значно точніше відтворюють реальні умови.

У результаті дослідження сформовано критерії вибору моделі, які включають: реалістичність поведінки мережі, швидкість моделювання, гнучкість налаштувань та масштабованість до великих систем.

Таким чином, доцільність багаторівневого підходу до моделювання бездротових мереж, що враховує специфіку середовища, обмеження обладнання та цілі оптимізації. Поєднання методів дає змогу створити точні, надійні та гнучкі мережеві моделі для практичного використання.

Висновки

1. Гібридний підхід, що поєднує аналітичні та імітаційні методи, забезпечує оптимальний баланс між точністю і швидкістю.
2. Тип топології суттєво впливає на продуктивність мережі.
3. Об'єктно-орієнтоване моделювання підходить для структурованих ієрархічних мереж.
4. Агентно-орієнтоване моделювання підходить для адаптивної поведінки вузлів у динамічних мережах, зокрема IoT.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вишневський, В.М. Широкопосмугові бездротові мережі передачі інформації / В.М. Вишневський, А.І. Ляхов, С.І. Кравець, І.В. Шахновіч // М.: Техносфера, 2005. - 591с.
2. ЗБІРНИК студентських наукових статей «Автоматизація та приладобудування» ADED-2023 Випуск 1 [електронне видання]- Режим доступу: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/4be10f43-9b1c-4b57-adbf-bf18b2f1bcfb/content>
3. Комп'ютерні засоби, мережі та системи – Режим доступу: https://www.dasd.com.ua/kzms/2015/2015_st17.pdf
4. Концептуальні засади агентно-орієнтованого моделювання – Режим доступу: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/13832/1/КОНЦЕПТУАЛЬНІ%20АСАДИ%20АГЕНТНО-ОРИЄНТОВАНОГО%20МОДЕЛЮВАННЯ.pdf>

Поташна Каріна Ярославівна — студент групи ІКІ-24М, факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: p.karina5555@gmail.com

Добровольська Наталія Вікторівна — доцент кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: doBr_n_v@vntu.edu.ua