

УДК 004.7:621.391.63:004.89

Зайцев О.В.¹, Киричек Г.Г.²

¹ студ. гр. КНТ-522 НУ «Запорізька політехніка»

² доц. НУ «Запорізька політехніка»

АДАПТИВНА БЕЗДРОТОВА MESH-МЕРЕЖА

В умовах післявоєнного відновлення та підвищених вимог до надійності цифрових сервісів постає проблема забезпечення стабільного функціонування мережевої інфраструктури. Пошкодження кабельних мереж, перебої електроживлення та необхідність організації навчального процесу в укриттях створюють додаткові виклики для традиційних мережевих архітектур. Зокрема, пошкодження одного центрального вузла або кабельної лінії може призвести до втрати зв'язку значної частини мережі. Одним із перспективних підходів до вирішення цієї проблеми є використання бездротових mesh-мереж, які характеризуються децентралізованою архітектурою, здатністю до автоматичної реконфігурації та підвищеною відмовостійкістю [1]. У таких мережах кожен вузол може виступати як ретранслятор, що забезпечує альтернативні маршрути передачі даних. Запропонований підхід відповідає пріоритетному напрямку розвитку інформаційних та комунікаційних технологій, зокрема у сфері цифрової

трансформації та кібербезпеки, а також пов'язаний із завданнями відновлення та модернізації освітньої інфраструктури.

Сучасні реалізації mesh-мереж використовують різні протоколи маршрутизації, серед яких значного поширення набули стандартизований протокол IEEE 802.11s та протокол B.A.T.M.A.N. (Better Approach To Mobile Adhoc Networking) [2]. Вони забезпечують автоматичне визначення маршрутів та адаптацію до змін топології мережі. Разом з тим існуючі протоколи маршрутизації переважно орієнтовані на загальний мережевий трафік і не враховують специфіку освітніх сервісів. Крім того, сучасні дослідження недостатньо враховують питання енергоефективності мережевих вузлів у випадку роботи від альтернативних джерел живлення, що є актуальним у періоди тривалих перебоїв електропостачання [3].

Метою дослідження є розроблення підходу до побудови адаптивної бездротової mesh-мережі університету, здатної забезпечити стабільний доступ до освітніх сервісів в умовах часткового пошкодження інфраструктури та обмеженого енергозабезпечення. Об'єктом дослідження є процес передачі даних у децентралізованій мережевій архітектурі закладу вищої освіти. Предметом є алгоритми маршрутизації та протоколи безпеки бездротових mesh-мереж, які забезпечують стабільний доступ до освітніх інформаційних ресурсів, зокрема систем дистанційного навчання та сервісів відеозв'язку. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати особливості використання mesh-мереж у освітньому середовищі; розробити адаптивний алгоритм маршрутизації з пріоритетом навчального трафіку; дослідити енергоефективні режими функціонування вузлів мережі; виконати моделювання покриття мережі з урахуванням особливостей будівель університетського кампусу та оцінити відмовостійкість запропонованої мережевої архітектури. Запропонована мережа будується на основі бездротової mesh-топології, у якій кожен вузол виконує функції маршрутизатора та ретранслятора. Така архітектура дозволяє забезпечити декілька альтернативних маршрутів передачі даних між вузлами мережі (рис.1).

Особливістю запропонованого підходу є використання адаптивного алгоритму маршрутизації, який враховує тип мережевого трафіку. Навчальний трафік, що генерується системами дистанційного навчання, відеоконференцій та освітніми платформами, отримує підвищений пріоритет порівняно з фоновими мережевими процесами. Для забезпечення енергоефективності вузлів мережі передбачається використання режимів адаптивного енергоспоживання. У разі зниження рівня живлення окремі вузли можуть переходити у режим зниженої активності, зберігаючи базову функціональність ретрансляції пакетів. Додатково передбачається можливість живлення мережевих вузлів від автономних джерел енергії, таких

як акумуляторні батареї або сонячні панелі. Це дозволяє забезпечити функціонування мережі навіть у випадку тривалих відключень електроенергії.

Рисунок 1 – Схема мережі

Реалізація запропонованої мережевої архітектури передбачає декілька етапів. На першому етапі здійснюється аналітичне моделювання зон покриття мережі з урахуванням особливостей планування будівель університетського кампусу, товщини стін та можливих радіоперешкод. Другий етап передбачає вибір та адаптацію протоколу маршрутизації mesh-мережі. Зокрема, можливим є використання протоколів IEEE 802.11s або B.A.T.M.A.N. з подальшою оптимізацією параметрів маршрутизації для освітніх сервісів. На третьому етапі здійснюється прототипування мережі шляхом розгортання тестового сегмента, який включає 5-10 вузлів. У межах експерименту проводиться оцінка таких показників, як затримка передачі пакетів, пропускна здатність та стійкість мережі до відмов окремих вузлів. На завершальному етапі розробляються методичні рекомендації щодо впровадження подібних мережевих рішень у закладах вищої освіти, зокрема для швидкого відновлення мережевої інфраструктури.

приміщення та укриття, що є важливим для організації навчального процесу під час повітряних тривог. По-третє, запропонована мережа характеризується високою масштабованістю. Нові вузли можуть бути додані до мережі без суттєвої реконфігурації існуючої інфраструктури, що дозволяє швидко розгортати мережі у тимчасових навчальних просторах або модульних кампусах. У роботі показано, що використання децентралізованої mesh-архітектури дозволяє забезпечити самовідновлення мережі, підвищити відмовостійкість та зменшити залежність від кабельної інфраструктури. Отримані результати можуть бути використані для модернізації мережевої інфраструктури закладів вищої освіти та створення стійких цифрових середовищ навчання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Pestov O., Kyrychek H., Tiahunova M. Yggdrasil routing scheme as a basis for large-scale decentralized mesh networks. *In Proceedings of the ICST-2024. CEUR Workshop*, 2024. Vol. 3790. P. 110–122. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3790/paper10.pdf>
2. Sanchez-Vital R., Gomez C., Garcia-Villegas E. Exploring the boundaries of energy-efficient Wireless Mesh Networks with IEEE 802.11 ba. *Internet of Things*, 2024, 28: 101366. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101366>
3. Leonardi L., Bello L. L., Patti G. A runtime admission control for industrial IoT over bluetooth low energy mesh networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 2025, 242: 104232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2025.104232>