

РОЗРОБКА СИМУЛЯТОРА ДЛЯ ПОРІВНЯЛЬНОЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕРЕЖІ LORA НА ОСНОВІ ТОПОЛОГІЙ ЗІРКА ТА СІТКА

Олександр Ковальчук

Львівський національний університет імені Івана Франка,
oleksandr.kovalchuk.fe@lnu.edu.ua

Забезпечення надійного збору телеметрії є критично важливим, особливо в умовах відсутності прямої видимості. Застосування технології LoRa дає рішення для передачі даних в реальному часі на великі відстані. Проведені дослідження [1] показали перевагу топології Сітка (Mesh) над класичною Зіркою (LoRaWAN) на базовому рівні просторового обходу перешкод. В даній доповіді розвинуто розробку комплексного симулятора, що враховує динаміку мережі, енергетику радіосигналу та часові механізми виникнення колізій.

У симуляторі реалізовано математичну модель затухання сигналу. Потужність прийнятого сигналу розраховано за формулою:

$$P_{rx} = P_{tx} - L_0 - 10n \lg(d) + X_g, \quad (1)$$

де P_{rx} - потужність сигналу на стороні приймача, P_{tx} - потужність сигналу, що випромінюється передавачем, L_0 втрати у вільному просторі, n - показник затухання сигналу ($n = 2$ - вільний простір, $n = 3..5$ - міська забудова), d - відстань між приймачем і передавачем, X_g - випадкова величина, яка моделює ефект затінення.

У моделі враховано чутливість приймача (прийом пакета здійснюється лише за умови RSSI > -137 дБм для SF9) [2], а також відношення сигнал/шум.

Для моделювання часових характеристик застосовано дискретно-подієве середовище SimPy [3] з врахуванням розрахунку реальної тривалості передачі пакета в ефірі, яка залежить від конфігурації LoRa (SF, BW, CR, Payload). Розроблено алгоритми обробки колізій: реалізовано ефект захоплення, який дозволяє приймачу успішно дешифрувати пакет у разі одночасного надходження кількох сигналів, якщо його потужність перевищує потужність фонового пакета на 6 дБ. В іншому випадку фіксувати втрату обох пакетів.

Ключовою особливістю розробленого симулятора є підтримка мобільності (руху) вузлів. Реалізовано адаптивну систему маршрутизації, яка динамічно оновлює шляхи на основі кількості вузлів, відстані між вузлами та

Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2026», 27–29 травня 2026 р., Львів

якості лінку, ініціюючи повторні спроби відправки за відсутності підтвердження.

Проведено експериментальні тести для порівняльної оцінки топологій для трьох конфігурацій: ідеальні умови з низьким трафіком, зашумлене середовище з підвищеним рівнем зовнішніх завад та щільна мережа, що створює значну кількість взаємних колізій.

Проаналізовано вплив кількості вузлів на стабільність мережі. За результатами симуляції встановлено, що в умовах високої щільності та зашумленості Mesh-архітектура забезпечує значно вищий коефіцієнт успішної доставки даних PDR порівняно зі Зіркою, компенсуючи пропорційне зростання середньої наскрізної затримки та енерговитрат вузлів-ретрансляторів.

1. Ковальчук О., Пушкарик О., Шевцов М., Середницька Х. Порівняльний аналіз ефективності топологій Зірка та Сітка у мережах LoRa в умовах щільної забудови. 2025. URL: <https://electronics.lnu.edu.ua/news/zbirnyk-tez-2-ho-vseukrainskoho-naukovo-praktychnoho-seminaru-radioelektronika-ta-komp-yuterni-tekhnologiyi-do-60-richchia-kafedry-radiofizyky-ta-komp-iuternykh-tekhnologiy-2026-r/>
2. SX1276/77/78/79 Datasheet, Semtech Corporation. URL: <https://www.mouser.com/datasheet/2/761/sx1276-1278113.pdf>.
3. Bor M., Roedig U., Voigt T., Alonso J. M. Do LoRa low-power wide-area networks scale? Proceedings of the 19th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems. 2016. с. 59–67.

DEVELOPMENT OF A SIMULATOR FOR COMPARATIVE EVALUATION OF LORA NETWORK EFFICIENCY BASED ON STAR AND MESH TOPOLOGIES

A discrete-event simulator using SimPy was developed to evaluate the efficiency of LoRa Star and Mesh topologies under complex conditions. The implemented model fully accounts for dynamic node mobility, radio signal path loss, receiver sensitivity, Time-on-Air characteristics, and the physical Capture Effect during signal collisions. Simulation results across ideal, noisy, and high-density scenarios demonstrate that the Mesh architecture significantly improves the Packet Delivery Ratio PDR in dynamic and dense environments, accurately reflecting the trade-offs between delivery reliability, end-to-end latency, and energy consumption.