

*Сорокін Д.А., аспірант  
Зилевич М.О., PhD, ст. викладач  
Національний технічний університет України «Київський  
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

## **ФАКТОРИ ТЕХНОГЕННОГО ТА ГЕОМЕТРИЧНОГО ВПЛИВУ НА ТОЧНІСТЬ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ У МЕРЕЖАХ LORA**

Технологія LoRa, що базується на методі модуляції CSS, на сьогодні є фундаментом для побудови низькоспоживаючих мереж великого радіусу дії (LPWAN). Попри високу чутливість приймачів, ефективність систем наземного позиціонування на її основі суттєво лімітується специфікою розповсюдження радіосигналу в реальних умовах. Наявність щільної забудови в урбанізованих районах та значне загасання енергії сигналу на відкритій місцевості створюють комплексні перешкоди. Аналіз природи похибок, що виникають у таких умовах, є критично важливим для розробки стійких алгоритмів локалізації.

Фундаментальною проблемою при використанні показника потужності сигналу (RSSI) для дистанційного вимірювання є нелінійність його деградації в неідеальних середовищах. Втрати потужності (Path Loss) суттєво відхиляються від теоретичних значень для вільного простору. У зв'язку з цим, для підвищення адекватності математичного опису каналу зв'язку доцільно застосовувати моделі затінення, які враховують специфіку середовища. Експериментальні дані підтверджують, що параметри потребують динамічної адаптації під конкретний ландшафт, оскільки фіксовані коефіцієнти призводять до значних похибок позиціонування.

Специфіка логарифмічної залежності між RSSI та відстанню обумовлює високу вразливість системи на великих дистанціях [1, 3]. На периферії зони покриття навіть незначні амплітудні флуктуації, спричинені шумами, призводять до непропорційно великих відхилень при розрахунку фізичних координат. Ситуація ускладнюється зниженням співвідношення сигнал/шум (SNR), що робить результати локалізації нестабільними та важкопередбачуваними [3, 4].

Окрім фізичних параметрів сигналу, вагомим чинником є просторова архітектура мережі. Ефективність алгоритмів трилатерації безпосередньо залежить від геометричного фактора – взаємного розташування шлюзів та об'єкта пошуку [2]. Неоптимальна конфігурація базових станцій спричиняє розширення області невизначеності (площі ймовірного знаходження вузла). Для мінімізації

негативних наслідків геометричної розбіжності необхідно впроваджувати методи стохастичної апроксимації, такі як метод найменших квадратів, що дозволяють уточнити координати в умовах зашумлених даних.

Для забезпечення прийнятної точності RSSI-позиціонування необхідно відмовитися від спрощених моделей поширення хвиль на користь адаптивних логарифмічних моделей, що враховують специфіку конкретного середовища. Математична нестабільність оцінки координат на великих відстанях потребує розробки додаткових механізмів фільтрації шумів та врахування поточного рівня SNR. Точність систем локалізації LoRa є похідною від топології розміщення інфраструктури, що вимагає ретельного планування мережі для уникнення зон критичних геометричних похибок.

#### **Список використаних джерел:**

1. Alireza S. Evaluation and Improvement of the RSSI-based Localization Algorithm: Received Signal Strength Indication (RSSI). Digitala Vetenskapliga Arkivet, 2015. 109 p.
2. D'Arienzo M. An Experimental Comparison of Basic Device Localization Systems in Wireless Sensor Networks. Network. 2025. Vol. 5, № 2. P. 11. DOI: 10.3390/network5020011
3. Bouras C., Gkamas A., Kokkinos A., Papachristos N. Real-Time Geolocation Approach through LoRa on Internet of Things. 2021 International Conference on Information Networking (ICOIN). 13-16 January 2021. DOI: 10.1109/ICOIN50884.2021.9333860
4. Xu T., Ma D., Fang W., Huang Y. Experimental Study on the Propagation Characteristics of LoRa Signals in Maize Fields. Electronics. 2025. Vol. 14. P. 2156. DOI: 10.3390/electronics14112156