

DOI 10.36074/logos-04.07.2025.023

## СКАНУВАННЯ СПЕКТРУ В РЕАЛЬНИХ УМОВАХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЄКТУВАННЯ АНТЕН

Сич Микола Валентинович<sup>1</sup>, Лазарєв Єгор Геннадійович<sup>2</sup>  
Науковий керівник: Гайдур Галина Іванівна<sup>3</sup>

---

**1.** старший викладач кафедри Систем та технологій кібербезпеки  
*Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, УКРАЇНА*  
**ORCID ID: 0009-0009-4661-2241**

**2.** здобувач вищої освіти за спеціальністю 125  
*Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, УКРАЇНА*  
**ORCID ID: 0009-0001-4595-5666**

**3.** д-р техн.наук, професор, завідувача кафедри Систем та технологій кібербезпеки  
*Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, УКРАЇНА*  
**ORCID ID: 0000-0003-0591-3290**

---

Сканування ефіру є критично важливою процедурою в таких галузях, як радіомоніторинг, бездротові телекомунікації, протидія радіоперешкодам, аналіз електромагнітного середовища тощо. Під час радіомоніторингу з ціллю збору даних використовують інформацію для створення баз даних та їх подальшої обробки, як описано в статті "*Signals Intelligence System with Software-Defined Radio*" [1]. При використанні приладів на базі програмно-конфігурованого радіо (SDR) досить часто аналізують радіосигнали в широкому спектрі [2][3], що технічно досить складно реалізувати без застосування специфічного обладнання.

Точність збору даних при скануванні ефіру залежить від цілого ряду факторів, зокрема типу антени, її розміщення, спрямованості, поляризації, відповідності частотному діапазону, та багатьох інших технічних характеристик.

У реальних реалізаціях багатосмугового сканування спектру з використанням SDR, як показано у роботі "*Real-Time Implementation of Multiband Spectrum Sensing Using SDR Technology*" [4], можна охоплювати

## ABSCHNITT 12. INFORMATIONSTECHNOLOGIEN UND –SYSTEME

широкий частотний діапазон за рахунок використання кількох SDR-пристроїв або комутації між частотами в межах одного SDR. Крім того, застосування power splitter-ів дозволяє паралельно підключати кілька SDR до однієї антени для одночасного прийому на різних частотах. Проте важливо враховувати певні апаратні обмеження, зокрема пов'язані з характеристиками антен.

Попри можливість сканувати широкий діапазон частот, ефективність прийому значною мірою залежить від погодженості антени з частотою прийому. Антени розраховуються [5] з урахуванням певної робочої частоти або діапазону, і поза цим діапазоном параметр узгодження (SWR — standing wave ratio) може значно погіршуватись. Високий SWR означає втрати потужності на відбиття сигналу в антені, що знижує чутливість системи в цих ділянках спектру.

Таким чином, навіть при використанні покращених SDR або комбінацій з power splitter-ами, найкраща якість сканування буде досягатися в центральній частоті того діапазону, під який оптимізована антена. Усі інші частоти, що лежать поза цією областю, будуть сканувати менш ефективно через погіршене узгодження та зростаючі втрати сигналу. Це є важливим практичним обмеженням для будь-якої системи багато смугового сканування, особливо при використанні стандартного обладнання.

Типовими причинами недостовірного збору даних під час сканування ефіру є кілька технічних факторів. По-перше, неправильне спрямування антени може призвести до зниження рівня прийнятого сигналу, якщо антена не зорієнтована на джерело. Другою поширеною проблемою є невідповідність поляризації: різна поляризація між антеною передавача та приймача значно знижує ефективність прийому. Також важливим фактором є погане узгодження антени — високий коефіцієнт стоячої хвилі ( $VSWR > 2:1$ ) свідчить про втрати потужності через відбиття сигналу [6]. Крім того, антени, які не охоплюють необхідний частотний діапазон, не забезпечують достатньої чутливості до сигналів. Ускладнюють ситуацію також електромагнітні перешкоди, багатосигнальність і явище багатопроменевості (multipath), коли відбиті сигнали створюють інтерференцію, що спотворює або маскує слабкі сигнали.

Одним з найбільш універсальних рішень у цьому контексті є використання логоперіодичної здвоєної антени (Log-Periodic Dipole Array, LPDA). LPDA є потужним інструментом для аналізу радіочастотного спектру, особливо в умовах високої невизначеності щодо частоти, поляризації, напрямку сигналу та наявності перешкод. Її здатність охоплювати широкий частотний діапазон, надійно узгоджуватись з приймачем, працювати в різних

поляризаційних режимах і забезпечувати спрямоване підсилення робить її незамінним засобом для достовірного сканування ефіру.

Більше того, сучасні підходи до проектування антен із використанням машинного навчання (ML) [7], зокрема генетичних алгоритмів, дозволяють оптимізувати параметри елементів LPDA і Yagi-антен для забезпечення ефективної роботи в широкому діапазоні — від 1G до 5G. Це відкриває шлях до створення по-справжньому універсальних антен, здатних адаптуватися до різноманітних умов радіосередовища та забезпечувати високу якість прийому.

У сучасних умовах, коли точність та гнучкість радіомоніторингу є критично важливими для збору даних, LPDA, особливо оптимізована з використанням ML-технологій, виступає як вибір професіоналів і платформа для майбутніх інновацій у сфері бездротових систем.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] (Radu, F., Cotfas, P. A., Alexandru, M., Bălan, T. C., Popescu, V., & Cotfas, D. T. (2023). *Signals Intelligence System with Software-Defined Radio*. *Applied Sciences*, 13(8), 5199.) Вилучено з: <https://doi.org/10.3390/app13085199>
- [2] Spectrum Occupancy Measurement: An Autocorrelation based Scanning Technique using USRP, Автори: Sriram Subramaniam, Hector Reyes, Naima Kaabouch, Пік / Джерело: WAMICON 2015, arXiv:1607.00590
- [3] Real-Time and Embedded Deep Learning on FPGA for RF Signal Classification, Автори: Sohraab Soltani, Yalin E. Sagduyu, Raqibul Hasan, Kemal Davaslioglu, Hongmei Deng, Tugba Erpek, Пік/Джерело: IEEE MILCOM 2019 (Military Communications Conference) DOI: 10.1109/MILCOM47813.2019.9021098
- [4] Molina-Tenorio, Y., Prieto-Guerrero, A., & Aguilar-Gonzalez, R. (2021). *Real-time implementation of multiband spectrum sensing using SDR technology*. *Sensors*, 21(10), 3506. Вилучено з: <https://doi.org/10.3390/s21103506>
- [5] Mzeh, H. K., Salabi, L., Jafer, M. T., & Sikalu, T. C. (2022). *Fundamentals and Applications of Antenna Theory and Design Methodology*. *National Journal of Antennas and Propagation*, 4(2), 34–40. Вилучено з: <https://doi.org/10.31838/NJAP/04.02.06>
- [6] Cisco Systems, Inc. (1992–2007). *Antenna Patterns and Their Meaning*. Cisco Public Information. Retrieved from Industrial Networking Solutions repository