

ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ У WIFI-МЕРЕЖІ ЗА АНАЛІЗОМ CSI-ПАРАМЕТРІВ

Розглянуто використання Channel State Information (CSI) у Wi-Fi для визначення об'єктів і їх переміщення, а також обробку CSI-даних з використанням нейронних мереж.

Ключові слова: Channel State Information (CSI), Wi-Fi, OFDM, бездротові мережі, обробка сигналів, ідентифікація об'єктів

CSI (Channel State Information) – це набір даних, що характеризують властивості середовища, в якому поширюються радіохвилі у бездротових мережах. У контексті Wi-Fi така інформація містить точні параметри сигналів, зокрема амплітуду і фазу, що фіксуються на різних піддіапазонах технології OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [1]. Завдяки цим даним можливо визначити присутність об'єктів у зоні дії мережі, а також відстежувати їхнє переміщення.

У типовій структурі CSI-системи на основі Wi-Fi можна виокремити кілька ключових елементів:

- 1) точки доступу (Access Points, APs) – обладнання, що забезпечує підключення бездротових пристроїв до мережі та водночас фіксує параметри сигналів;
- 2) кінцеві пристрої – смартфони, ноутбуки чи інша техніка, що взаємодіє з точками доступу і може брати участь у зборі CSI-інформації;
- 3) передавальне середовище – канал, у якому відбувається передача сигналів між точками доступу та клієнтами.

Робота CSI у Wi-Fi базується на спостереженні за тим, як радіохвилі поширюються у просторі. Під час передачі сигналу від точки доступу частина хвиль відбивається від різних перешкод – наприклад, стін, меблів або людей. Через це сигнал доходить до приймача по декількох траєкторіях, викликаючи інтерференцію. У результаті відбуваються зміни параметрів сигналу (амплітуди та фази) на кожному з підканалів OFDM [2]. Такі зміни є унікальними для конкретного простору та залежать від розміщення й властивостей об'єктів, які в ньому присутні.

Щоб отримати CSI, застосовують спеціалізоване програмне забезпечення та драйвери, наприклад, Linux 802.11n CSI Tool [3]. Ці інструменти забезпечують доступ до детальної інформації про канал зв'язку в бездротових мережах, що функціонують на основі стандартів 802.11n і 802.11ac (рис. 1).

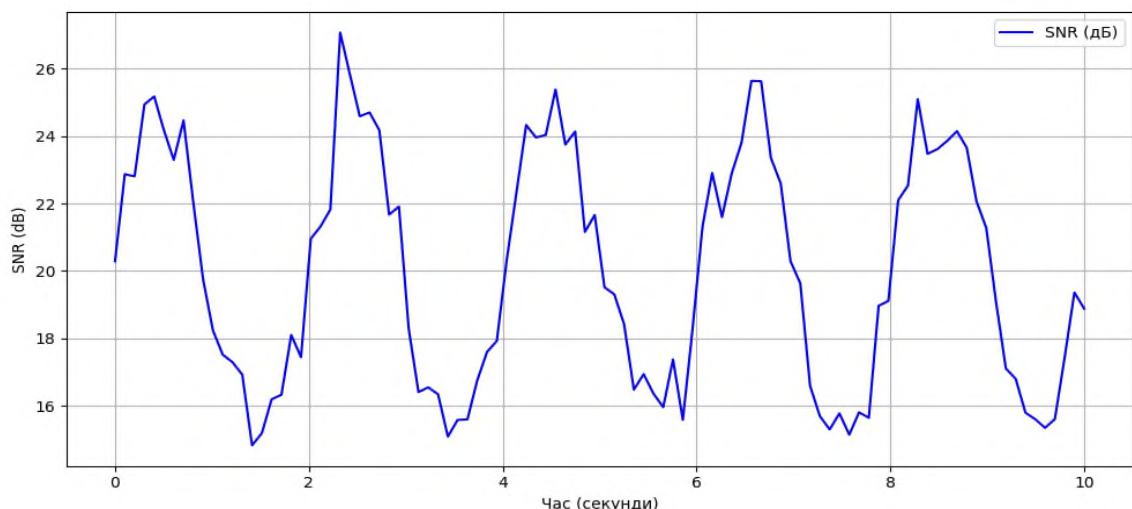


Рис. 1. Графік відношення сигнал/шум CSI

OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) – це метод мультиплексування (поєднання кількох потоків даних в один спільний простір), який розподіляє заданий радіоспектр на набір ортогональних піднесних, через які передається інформація.

Однією з ключових причин застосування CSI є забезпечення високої якості передачі інформації. У стандарті 802.11n для передавання даних використовується технологія OFDM (ортогональне частотне

мультиплексування), яка дозволяє здійснювати передачу інформації через декілька підканалів одночасно, залучаючи при цьому множинні антени як на стороні відправлення, так і приймання сигналу (рис. 2).

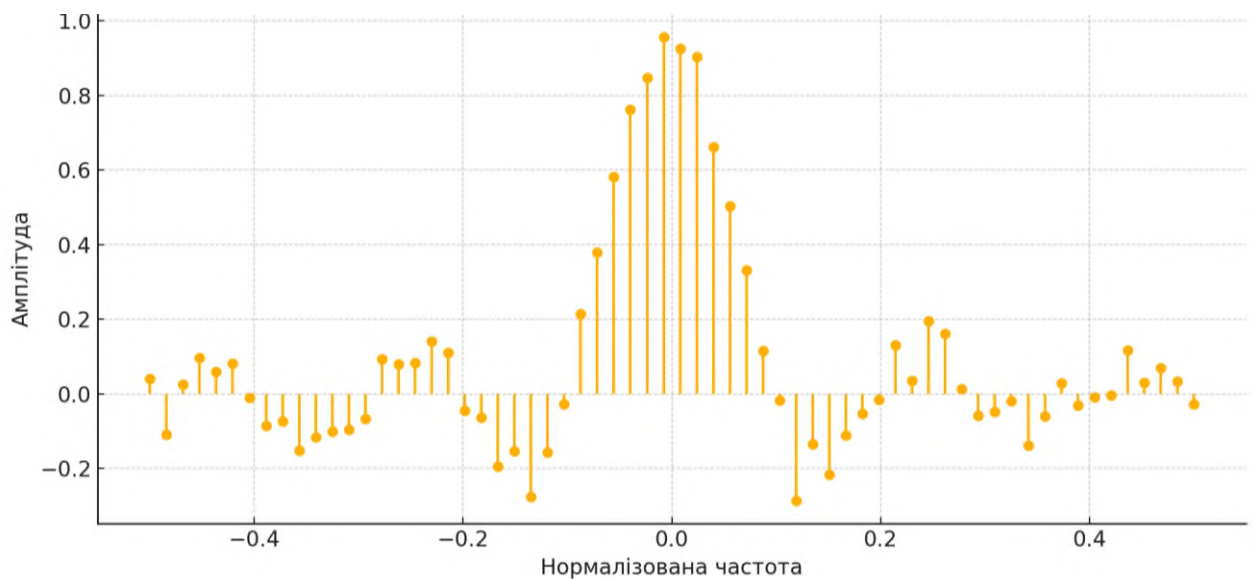


Рис. 2. Розподіл піднесучих OFDM-сигналу відносно амплітудно-частотної характеристики

На стабільність і якість зв'язку між відправником і приймачем впливають різні чинники, зокрема згасання сигналу, втрати на відстані та ефекти розсіювання. Для того, щоб точно оцінити ці характеристики, використовують показник CSI, який дозволяє отримувати дані про стан кожного підканалу для кожної пари антен.

Канальна матриця H , яка представляє собою CSI, містить комплексні значення, що описують характеристики сигналу: його амплітуду та фазу на конкретній піднесучій [4]. У системах MIMO формування цієї матриці відбувається під час передачі: кожен підканал, проходячи через різні траєкторії, створює унікальний слід (або сигнатуру), що відображається у вигляді набору фазових і амплітудних компонентів.

На приймальній стороні пристрій аналізує отримані сигнали, будує відповідну CSI-матрицю і надсилає зворотний зв'язок передавальному пристрою, надаючи повну картину про стан каналу для кожного підканалу.

Дослідження засад функціонування та будови CSI мережі Wi-Fi показало, що її застосування для ідентифікації об'єктів має ряд переваг, включаючи: здатність функціонувати за поганої видимості, невеликі потреби в обладнанні та доступну вартість впровадження системи. Проте, необхідно брати до уваги й деякі мінуси, наприклад, сприйнятливості до шумів та невеликий діапазон дії.

Аналіз наявних способів обробки CSI-даних та алгоритмів машинного навчання підтвердив інтенсивний прогрес цієї сфери. Особливо багатообіцяючими є методи, що використовують нейронні мережі, котрі показують кращу точність розпізнавання навіть у складних умовах.

References

1. Zhu Yi., Zhu Ya., Zhang Z., Zhao B. Y., Zheng H. 60GHz mobile imaging radar. *Mobile computing systems and applications (HotMobile'15)* : Proc. of the 16th Internat. Workshop, Santa Fe, New Mexico, USA. New York, NY, USA, 2015. P. 75–80. DOI: 10.1145/2699343.2699363..
2. Yousefi S., Narui H., Dayal S., Ermon S., Valaee S. A survey on behavior recognition using WiFi Channel State Information. *IEEE Communications Magazine*. 2017. Vol. 55, no. 10. P. 98–104. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1700082.
3. Abazorius A. New system allows for high-accuracy, through-wall, 3-D motion tracking. *Massachusetts Institute of Technology News* : web site. Publ. Dec. 11, 2013. Retrieved from: <https://news.mit.edu/2013/new-system-allows-for-high-accuracy-through-wall-3-d-motion-tracking-1211> (Last accessed: 13.05.2025).
4. Sharma S., Raj R., Kumar V. Human activity recognition and prediction based on Wi-Fi channel state information and machine learning. *International Journal of Engineering Research in Computer Science and Engineering (IJERCSE)*. 2023. Vol 10, Is. 4. P. 29–35.

DETECTION OF OBJECTS IN A WIFI NETWORK BY ANALYSIS OF CSI PARAMETERS

The article considers the use of Channel State Information (CSI) in Wi-Fi for detecting objects and their movement and the processing of CSI data using neural networks.

Keywords: *Channel State Information (CSI), Wi-Fi, OFDM, wireless networks, signal processing, object identification.*

Відомості про автора / Information about the Author

Олексій Тогоєв, старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії Чорноморського національного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна. E-mail: oleksii.tohoiev@chmnu.edu.ua, orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3465-7767>.

Oleksii Tohoiev, Senior Lecturer in Computer Engineering Department at the Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine. E-mail: oleksii.tohoiev@chmnu.edu.ua, orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3465-7767>.

© О. Тогоєв
20.05.2025.

Стаття отримана редакцією

