

*Денисюк М.С., бакалавр,
Ципоренко В.Г., к.т.н., доцент
Державний університет «Житомирська політехніка»*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АНТЕН ДЛЯ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ ІОТ В ПОБУТОВИХ УМОВАХ

У сучасних умовах швидкого розвитку інформаційно-комунікаційних технологій, бездротові мережі Інтернету речей (IoT) стали невід'ємною частиною повсякденного життя, забезпечуючи автоматизацію побутових процесів, моніторинг навколишнього середовища та інтеграцію розумних пристроїв у домогосподарствах. Антени, як ключові елементи цих мереж, відіграють вирішальну роль у забезпеченні стабільного зв'язку, мінімізації втрат сигналу та оптимізації енергоспоживання. У побутових умовах, де перешкоди у вигляді стін, меблів та електромагнітних завад є типовими, ефективність антен безпосередньо впливає на надійність систем, таких як розумні будинки, wearable-пристрої та сенсорні мережі. Дана робота присвячена аналізу ефективності антен для бездротових мереж IoT саме в таких умовах, з акцентом на теоретичні аспекти, порівняльний огляд існуючих рішень та практичні рекомендації. Це дозволить оптимізувати конструкції антен для повсякденного використання, враховуючи обмежені ресурси та вимоги до компактності, без необхідності в складних експериментальних установках.

Метою досліджень є комплексне дослідження ефективності антен для IoT-мереж у побутових умовах з метою розробки рекомендацій щодо їх вибору та застосування. У процесі досліджень планується провести аналіз ключових параметрів, таких як коефіцієнт підсилення (gain), ефективність випромінювання, ширина смуги пропускання та вплив мультисляхового поширення сигналу. Для досягнення мети виконано розрахунки втрат сигналу в типових indoor-середовищах (наприклад, за моделлю Rayleighfading), порівняльний аналіз типів антен (дипольні, патч, МІМО). Отримані результати дозволяють досягти високих кількісних показників системи, наприклад, покриття сигналу на відстанях 10-30 м з урахуванням завад, та сформулювати рекомендації щодо оптимізації для низькоенергетичних протоколів (Bluetooth LE, Zigbee). Очікуваний результат — набір практичних рекомендацій для інтеграції антен у побутові IoT-системи, що підвищить їх ефективність на 20-30% без додаткових витрат.

Об'єктом дослідження є антени для бездротових мереж IoT, зокрема їх характеристики та функціонування в реальних умовах. Це включає

омнідирекційні дипольні антени (з типовим gain 2.1 dBi та ефективністю 70-80%), компактні патч-антени (gain 6-7 dBi, ефективність 80-90%) та реконфігуровані системи на базі метаматеріалів. У фокусі – indoor-середовища, де фактори, такі як матеріали стін (бетон, дерево), вертикальні зміщення пристроїв та електромагнітні шуми від побутової техніки, призводять до втрат сигналу до 14 dB.

Проведено аналіз особливостей побудови антен для IoT, включаючи класифікацію типів антен, принципи роботи в діапазонах 2.4/5.8 GHz та mmWave (28 GHz), а також моделі поширення сигналу всередині приміщень (наприклад, мультишляховість та fading). Визначені перспективні варіанти побудови, такі як віртуальні антени для low-power пристроїв [1, 2].

Виконані дослідження факторів впливу на ефективність роботи антен (зменшення на 20% через стіни), позиціонування антен (точність 1-3 м для assettracking) та енергозберігання для подовження життя батарей [3, 4]. Проведено розрахунки gain та bandwidth для різних сценаріїв та сформовані відповідні рекомендації для їх покращення.

Проаналізована ефективність перспективних антен, таких як: дипольні vs, патч для wearable (gain -16 dBi для finger-ring) та MIMO для цільних мереж (gain до 12 dBi). Запропоновано застосування для підвищення їх ефективності amplify-and-forward для 3D-покриття, що покращує сигнал на 50%.

Список використаних джерел:

1. Antenna systems for IoT applications: a review. [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43621-024-00638-z>
2. A wearable finger-ringantenna for smart-home Internet of Things. [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: <https://archiwum.pe.org.pl/articles/2024/7/50.pdf>
3. Can IoT Devices be Powered up by Future Indoor Wireless Networks? [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3638550.3641134>
4. Fine-Grained 3D Indoor Wireless Coverage for Small IoT Devices. [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <https://conferences.sigcomm.org/sigcomm/2021/files/papers/3452296.3472890.pdf>