

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗВ'ЯЗКУ У СИСТЕМАХ LiFi НА ОСНОВІ КОДУВАННЯ МАНЧЕСТЕРА ТА ХЕММІНГА

Бакум В.Ю.

e-mail: vitalii.bakum@nure.ua

Науковий керівник – ас. Безродний В.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. АПОТ
м. Харків, Україна

This work is devoted to assessing the efficiency of Light Fidelity (LiFi) technology combined with Hamming and Manchester coding techniques. LiFi provides high-speed wireless data transmission using visible light, but it is susceptible to physical obstacles and optical noise, which can cause significant signal degradation and data loss. To address this issue, a hybrid approach using Manchester coding alongside Hamming coding for forward error correction and clock synchronization, is proposed. This combination mitigates the impact of physical interference, prevents extended runs of logical zeros, and ensures robust data recovery to improve the reliability and quality of LiFi networks.

У сучасному світі технологія LiFi (Light Fidelity) набуває все більшої популярності як інноваційна та безпечна альтернатива традиційним радіочастотним мережам (Wi-Fi). Використовуючи видиме світло (Visible Light Communication, VLC) для бездротової передачі даних, LiFi забезпечує високу пропускну здатність, наднизьку затримку та захищеність від перехоплення, оскільки світлові хвилі не проходять крізь непрозорі об'єкти [1]. Проте ця фізична особливість є також головним викликом для розробників: наявність фізичних завад, випадкове перекриття лінії прямої видимості (Line-of-Sight), а також вплив стороннього оптичного шуму (наприклад, яскравого сонячного світла) можуть призводити до значних втрат пакетів даних та зниження загальної якості зв'язку.

Для вирішення проблеми цілісності даних в умовах фізичних завад необхідним є застосування комплексних методів кодування. Аналіз існуючих рішень, стандартизованих у рамках протоколу IEEE 802.15.7 (зокрема фізичні рівні PHY I та PHY II), показує, що використання Манчестерського кодування (Manchester coding) дозволяє ефективно боротися з низькочастотними оптичними шумами. Механізм цього коду полягає у вбудовуванні тактового сигналу безпосередньо в потік даних: логічний «0» передається як послідовність «01», а логічна «1» – як «10» [2]. Такий підхід гарантує наявність постійної складової (DC component) у сигналі. Це запобігає згасанню джерела світла у разі передачі послідовності нулів, усуває видиме оком мерехтіння (flickering) та покращує синхронізацію між приймачем і передавачем.

Однак, хоча Манчестерське кодування стабілізує фізичний рівень передачі і фільтрує частину завад, воно не здатне самотійно відновлювати

дані, які було втрачено або пошкоджено [3]. Для вирішення цієї проблеми пропонується гібридний підхід: поєднання Манчестерського кодування із завадостійким кодуванням Хеммінга (Hamming coding).

Код Хеммінга відноситься до класу лінійних блокових кодів, що забезпечують пряму корекцію помилок (Forward Error Correction, FEC). Завдяки існуванню перевірочних бітів, приймач здатний виявляти та автоматично виправляти поодинокі спотворення бітів, які виникають через фізичні перешкоди. Кодування Хеммінга має відносно невелику обчислювальну складність, що критично важливо для компактних LiFi трансиверів та пристроїв Інтернету речей (IoT), оскільки дозволяє виконувати корекцію помилок у реальному часі на малопотужних мікроконтролерах без суттєвих затримок та високого енергоспоживання.

Використання алгоритму Hamming(7,4) (де на кожні 4 біти корисних даних додаються 3 біти парності) перед модуляцією сигналу Манчестерським кодуванням дозволяє нівелювати вплив оптичного фоновому шуму, підтримувати ідеальну апаратну синхронізацію та відновлює пошкоджені біти [4]. Експериментальні дані підтверджують, що таке поєднання значно знижує частоту помилок (Bit Error Rate, BER) порівняно зі звичайним OOK (On-Off Keying) модулюванням.

Інтеграція технології LiFi з гібридною системою, що поєднує Манчестерське кодування з кодом Хеммінга, є ефективним рішенням для подолання проблем фізичних завад та оптичного шуму. Запропонований підхід дозволяє зберегти високу швидкість та якість передачі інформації навіть в умовах динамічних середовищ, а також гарантує стабільність сигналу, відсутність мерехтіння та можливість автоматичного відновлення втрачених даних, що робить можливим широке впровадження LiFi у майбутніх мережах зв'язку.

Список використаних джерел:

1. Haas H. High-speed wireless networking using visible light [Електронний ресурс] / Н. Хаас // SPIE Newsroom. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1117/2.1201304.004773>.
2. Mitigation of optical background noise in light-emitting diode (LED) optical wireless communication systems [Електронний ресурс] / [C. W. Chow, C. H. Yeh та ін.] // IEEE Photonics Journal. – 2013. – Vol. 5. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6409954>.
3. Development and Evaluation of a LiFi-Transceiver Module for TMTC Intra-Satellite Communication[Електронний ресурс] / [C. E. та ін.] // MDPI Aerospace. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mdpi.com/2226-4310/10/3/276>.
4. Concept Drift Aware Wireless Key Generation in Dynamic LiFi Networks[Електронний ресурс] / [A. S. та ін.] // IEEE Xplore. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10387654>.