

ВИКОРИСТАННЯ LI-FI ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИДИМОГО СВІТЛА

**Наритник Т.М., Єрмаков А.В., Постернак Б.С.,
Клин І.М., Сарапулов С.В.**

*Інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: yermak_antonio@ukr.net*

Using Li-Fi to transmit data with visible light

Li-Fi wireless optical network technology is used to transmit data via LEDs. The technology relates to the class of communications in the visible light spectrum (VLC) and uses the transmission medium in many respects similar to Wi-Fi. Compared to the latter, it has better bandwidth, efficiency, availability and security.

Li-Fi передача двійкових даних за допомогою видимого світла (засновником і автором терміну вважається професор Харальд Хаас (Harald Haas)) може бути здійснена шляхом включення і виключення світлодіода. Оскільки зміна станів може відбуватися менш ніж за 1 мкс, то для людського ока світлодіод буде здаватися постійно включеним. Дані можуть кодуватися за допомогою різної швидкості спалахів світлодіода, що дозволяє отримувати різні рядки 1 і 0. Чутливий фотодіод отримує сигнал і перетворює його в двійкові дані. Цей метод використання швидких імпульсів світла для безпроводової передачі даних технічно відноситься до зв'язку за допомогою видимого світла (VLC). Термін Li-Fi це технологія, яка потенційно може конкурувати з Wi-Fi. VLC використовує видиме світло в діапазоні 400 ТГц (780 нм) - 800 ТГц (375 нм) в якості оптичного носія для передачі даних і освітлення. При використанні високошвидкісних світлодіодів з відповідною схемою модуляції можуть бути досягнуті швидкості передачі вище 3 Гб/с від одного джерела. Паралельна передача даних за допомогою масивів світлодіодів, кожен з яких передає окремий потік, може збільшити швидкість передачі. Розглянемо, чим Li-Fi відрізняється від VLC. VLC використовує світлодіоди для передачі двійкових даних за допомогою зміни інтенсивності випромінювання (Intensity Modulation, IM). На приймачі сигнал визначається фотодіодом з використанням принципу прямого детектування (Direct Detection, DD). VLC техніка зв'язку «точка-точка», по суті, як заміна кабеля, що призвело до ранньої стандартизації VLC IEEE 802.15.7. Тепер цей стандарт переглянутий, і він включає Li-Fi. На відміну від VLC стандарт Li-Fi описує двосторонній багато користувальний зв'язок, іншими словами, зв'язок «точка-багатоточка» і «багатоточка-точка». Li-Fi забезпечує повну мобільність користувача і тому утворює новий напрямок серед існуючих гетерогених безпроводових мереж. Той факт, що світлодіод є природним формувачем

променя, дозволяє локально обмежити сигнал Li-Fi і блокувати його непрозорими стінками.

Поскільки Li-Fi використовує електромагнітне випромінювання для передачі даних, то тут можуть бути використані для зв'язку методи з необхідною модифікацією. Більш того, завдяки використанню для безпроводового зв'язку видимого світла в Li-Fi можуть бути реалізовані унікальні і специфічні формати модуляції.

При модуляції однієї несучої (Single-Carrier Modulation, SCM) широко використовуються схеми, які включають амплитудну маніпуляцію (On-Off Keying, ООК), фазово-імпульсну модуляцію (Pulse Position Modulation, РРМ) і амплітудно-імпульсну модуляцію (Pulse-Amplitude Modulation, РАМ). ООК є однією з простих схем модуляції, і забезпечує гарний компроміс між продуктивністю системи і складністю реалізації. ООК передає дані послідовно включаючи і вимикаючи світлодіод, схема може за своєю суттю забезпечувати підтримку зменшення сили світла (діммінг). Як зазначено в стандарті IEEE 802.15.7, діммінг може бути досягнутий за рахунок налаштування рівнів вкл/викл або застосування компенсації символу. Діммінг за рахунок налаштування рівнів вкл/викл світлодіода може зберігати той же темп передачі даних, однак дальність надійність зв'язку буде зменшуватися при низьких рівнях зменшення сили світла. З іншого боку, діммінг за допомогою компенсації символу може бути досягнутий вставкою додаткових імпульсів вкл/викл, тривалість визначається бажаним рівнем зниження інтенсивності світла. Оскільки максимальна швидкість передачі даних досягається при рівні зменшення сили світла на 50%, який передбачає рівну кількість 1 і 0 в середньому, збільшення або зменшення яскравості світлодіодів буде викликати зниження швидкості передачі.

Для забезпечення високошвидкісного оптичного безпроводового зв'язку почали застосовувати модуляцію декількох несучих (MCM). У порівнянні з SCM, MCM є більш широкосмуговим, але менш енергоефективним. Однією і, мабуть, найбільш використовуваною реалізацією MCM в мережах Li-Fi є OFDM - мультиплексування з поділом сигналів по ортогональних частотах, при якому паралельні потоки даних передаються одночасно за допомогою набору ортогональних піднесучих, де складне формування амплітудно-частотних характеристик може бути опущено. Якщо кількість ортогональних піднесучих вибирається так, що ширина смуги модульованого сигналу менше, ніж ширина смуги когерентності оптичного каналу, то кожен підканал може розглядатися як плоский канал з завмиранням (сенс ширини смуги когерентності полягає в тому, що в діапазоні частот, який значно менше, ніж ширина смуги когерентності, частотна характеристика каналу може вважатися плоскою, тобто вона не сильно змінюється).

В Li-Fi використовуються також і специфічні схеми модуляції. Оскільки трансмітери Li-Fi розробляються, не тільки для безпроводового зв'язку, а й для освітлення, яке може бути реалізовано або з використанням синіх світлодіодів з жовтим фосфорним покриттям, або за допомогою суміші кольорів від різнокольорових світлодіодів. Лампи, обладнані кольоровими світлодіодами,

можуть надати додаткові можливості для модуляції і визначення сигналу в системі Li-Fi.

Будучи широкопasmовою безпроводовою технологією, Li-Fi може забезпечити одночасний доступ до мережі безлічі користувачів. При використанні передавачів з кутовим рознесенням може бути реалізована схема оптичного множинного доступу з просторовим розділенням (Space Division Multiple Access, SDMA). У порівнянні з оптичним множинним доступом з розділенням за часом (TDMA), SDMA може досягти десятикратного збільшення пропускної здатності в мережі Li-Fi. OFDM забезпечує більш простий метод множинного доступу, а саме, множинний доступ з поділом по ортогональних частотах (OFDMA), де користувачі обслуговуються і розділяються безліччю ортогональних піднесучих.

З метою підвищення пропускної спроможності для користувачів периферійних сот безпроводових систем зв'язку був запропонований неортогональний множинний доступ (NOMA). Використовуючи трансляційну природу світлодіодів, було показано, що продуктивність мережі Li-Fi може бути поліпшена, якщо використовувати NOMA. Відмінна від загальноприйнятих технологій OFDMA, NOMA може обслуговувати збільшену кількість користувачів за допомогою розподілу неортогональних частотних ресурсів, і вона розглядається як перспективна технологія для безпроводового зв'язку 5G. Поряд з перевагами Li-Fi, як і багатьом іншим технологіям, притаманні і ряд специфічних особливостей. Основна з них та, що світ не може проходити через перешкоди. Проблемами також є надійність і покриття мережі. Її роботу можуть ускладнювати зовнішні джерела світла, такі як сонце, звичайне електричне освітлення, непрозорі предмети на шляху поширення сигналу. Таким чином, Li-Fi технологія навряд чи замінить Wi-Fi технологію - вона може зайняти достойну нішу в широкопasmових безпроводових телекомунікаціях.

Література

1. http://laser-portal.ru/content_1193.
2. http://www.bbc.com/russian/science/2013/10/131029_li-fi_technology.
3. <http://1234g.ru/novosti/li-fi>.
4. <http://li-fi.com.ua/li-fi/>
5. https://www.ted.com/talks/harald_haas_wireless_data_from_every_light_bulb?language=ru.
6. https://www.ted.com/talks/harald_haas_a_breakthrough_new_kind_of_wireless_internet?language=ru.
7. <https://www.eng.ed.ac.uk/about/people/prof-harald-haas>.
8. <https://www.lifi.eng.ed.ac.uk/>