

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Локальна захищена бездротова Li-Fi мережа
(тема)

Виконав:
здобувач IV року навчання,
групи КІУКІ-21-9 Змієвський І.М.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма
Комп'ютерна інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Немченко В.П.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Чумаченко С.В.
(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ Автоматизації проектування обчислювальної техніки _____

Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____

Спеціальність _____ 123 Комп'ютерна інженерія _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____

Освітня програма _____ Комп'ютерна інженерія _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)
« _____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Здобувачеві Змієвському Ігорю Марковичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Локальна захищена бездротова Li-Fi мережа _____

затверджена наказом університету від 21/05/2025 р. № 403 _____

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії _____ 15.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

1. Захист інформації від сторонніх осіб _____ .

2. Передача інформації в оптичному діапазоні _____ .

3. Тип мережі – LocalAreaNetwork _____ .

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

- Аналіз базових мережевих технологій _____


- Аналіз структури і функціонування натільної мережі _____

- Розробка структури бездротової Li-Fi мережі _____

- Симуляція працездатності бездротової Li-Fi мережі _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) 17 сл.


6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)


Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
	Проф. Немченко В.П.		10.06.25

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни	Примітка
		виконання етапів роботи	
1.	Аналіз завдання на розробку	02.05.25 – 07.05.25	Виконано
2.	Постановка задач на розробку.	06.05.25 – 12.05.25	Виконано
3.	Аналіз існуючих технологій передачі інформації	12.05.25 – 27.05.25	Виконано
4.	Розробка структури Li-Fi	25.05.25 – 07.06.25	Виконано
5.	Моделювання роботи системи	05.06.25 – 08.06.25	Виконано
6.	Оформлення пояснювальної записки	06.06.25 – 10.06.25	Виконано
7.	Підготовка ілюстративних матеріалів.	07.06.25 – 11.06.25	Виконано

Дата видачі завдання 02.05.2025 р.

Здобувач 
(підпис)

Керівник роботи  Проф. Немченко В.П.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 45 сторінок, 20 рисунків, 13 джерел за переліком посилань.

ОПТИЧНИЙ ДІАПАЗОН, LI-FI, БЕЗДРОТОВІ ЛОКАЛЬНІ МЕРЕЖІ, ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ, БЕЗПЕКА, LED

Описано принципи роботи, відмінність технології Wi-Fi, а також висвітлено сфери застосування, в яких технологія може бути застосована. Проаналізовано принципи створення та реалізації безпечних бездротових мереж.

Розглянуто питання захисту інформації в локальних бездротових Li-Fi мережах і розглянуто перспективи подальшого розвитку та впровадження в практику цієї технології. Наведено приклади використання Li-Fi мереж у навчальних закладах.

REFERENCE

Explanatory note: 45 pages, 20 figures, 13 references.

OPTICAL RANGE, LI-FI, WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS, INFORMATION PROTECTION, SECURITY, LED

The article describes the principles of operation, the difference between Wi-Fi technology, and the areas of application in which the technology can be used. The principles of creating and implementing secure wireless networks are analyzed.

The issues of information protection in local wireless Wi-Fi networks are considered, and the prospects for further development and implementation of this technology are discussed. Examples of Li-Fi network use in educational institutions are provided.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	11
1.1 Wi-Fi технологія.....	11
1.2 Li-Fi технологія.....	13
1.3 Технологія ОСС.....	20
1.4 Використання LiFi технології	21
1.5 Безпека в бездротових мережах.....	27
2 ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗДРОТОВОЇ LI-FI-МЕРЕЖІ.....	29
2.1 Розробка Li-Fi мережі	29
2.2 Використання Li-Fi технології в приміщеннях ВНЗ	32
2.3 Сучасні напрямки розвитку та застосувань Li-Fi технології.....	33
2.4 Інтеграція з Інтернетом речей (IoT).....	34
3 ПОБУДОВА LI-FI МЕРЕЖІ.....	37
3.1 Стратегія побудови бездротової локальної Li-Fi мережі.....	37
3.2 Випробовування працездатності елементів Li-Fi мережі.....	38
3.3 Застосування технології Li-Fi та її перспективи.....	40
ВИСНОВКИ.....	42
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	43
ДОДАТКИ.....	45
ДОДАТОК А ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ.....	45

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ
І ТЕРМІНІВ

IT – Information Technology (Інформаційні технології);

IoT – Internet of Things (Інтернет речей);

AI – Artificial Intelligence (ШІ, Штучний Інтелект);

БСМ - Бездротова Сенсорна Мережа;

WLAN - Wireless Local Area Network;

LC - Light Communications;

OCC- Optical Camera Communication;

LED - Light-Emitting Diode;

AOS - Open System Association;

SKA - Shared Key Authentication;

AES - Advanced Encryption Standard;

ВСТУП

Сучасний світ неможливо представити без використання бездротових технологій. Фізична мобільність у Інтернет-просторі є дуже важливим показником нашої незалежності від нашого місця розташування у просторі. Зараз потреби у бездротовому зв'язку зростають дуже стрімко. Тобто має місце експоненціально зростаючий попит на бездротові дані. Наприклад, у 2021 році більше половини з 17 мільярдів підключених пристроїв є мобільними. При цьому такий попит спричинений тим, що значна частка інтернет-трафіку є відео, яке потребує високошвидкісного бездротового з'єднання із середньою швидкістю 20 Мбіт/с. Цей попит зростає при тому, що, зараз Інтернет речей (IoT) став реальністю, а кількість підключених пристроїв різко зростає до понад 20 мільярдів пристроїв.

Джерело: <http://telecoms.com/471823/nokia-bell-labs-research-forecasts-substantial-2020-mobile-capacity-shortfall/>яскраво підтверджує цю думку. Про це свідчить інформація наведена на рисунку 1 де показано історичний і прогнозований попит на бездротові дані, що свідчать про неминуче зростаючий дефіцит доступної бездротової потужності протягом багатьох років.

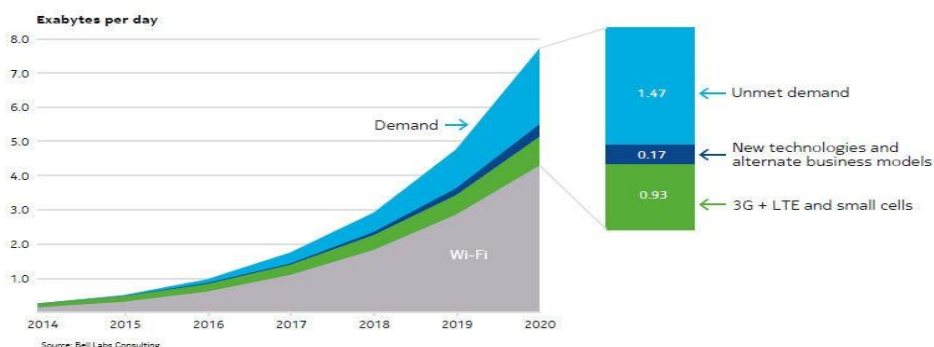


Рисунок 1- Історичний і прогнозований попит/пропозиція на бездротові дані

наявності додаткового спектру для передачі такого обсягу інформації. Відомо, що відповідно до закону, згідно з яким швидкість передачі даних, доступна для бездротового пристрою, подвоюється приблизно кожні 30 місяців, що тільки підкреслює цю проблему [1].

Є кілька рішень, які можуть забезпечити збільшення доступного радіочастотного спектру. Тим не менше зараз практично всі вони базуються на використанні технології Wi-Fi. Як відомо ця технологія має певні обмеження і людство стикається з необхідністю відшукувати все більш нові середовища для бездротової передачі інформації.

І спектр видимого світла, і спектр інфрачервоного випромінювання є глобально неліцензійними. Пристрої Light Communications (LC) обіцяють використовувати цей раніше невикористаний спектр.

Заявки на LC є вликі. У будь-якому місці, де для освітлення встановлено твердотільні ліхтарі, наприклад, світлодіодні ліхтарі, також може бути високошвидкісна бездротова передача даних.

Як відомо, звичайні світлодіодні лампи споживають на 85% менше енергії ніж їх аналоги з лампами розжарювання, і їх впровадження може мати величезний вплив на енергоспоживання, причому на даний момент на освітлення припадає 15% світового споживання електроенергії та 5% світових викидів парникових газів.

Витрати були скорочені завдяки вдосконаленню виробництва та вищій ефективності контактів розетки. Вартість однієї світлодіодної лампи залишається вищою, ніж для ламп розжарювання та люмінесцентних технологій, але значно довший термін служби до 25 000 годин і економія енергії роблять вартість за люмен набагато конкурентно спроможнішою. Як наслідок, частка ринку світлодіодного освітлення вже становить 40-50% (залежно від географії. Приймаючи до уваги всі ці наведені вище дані ми приходимо до висновку, що використання LC-технології[2].

Крім того треба мати на увазі такий феномен світлопередачі, що розповсюдження світла при передачі інформації можна досить легко обмежити площу отримання інформації завдяки спрямуванню променя та формою і потужністю світлового сигналу. Отже є досить простий спосіб обмежити коло споживачів світлового сигналу на відміну від властивостей радіочастотного методу передачі (WI-FI) де вирішення проблеми захисту інформації є достатньо складна задача [3].

1 АНАЛІЗ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

1.1 Wi-Fi технологія

Wi-Fi — це бездротова технологія, яка використовується для підключення комп'ютерів, планшетів, стільникових телефонів (смартфонів) та інших пристроїв до Інтернету за допомогою радіочастотного з'єднання. Wi-Fi — це радіосигнал, який надсилається від маршрутизатора (бездротового) до пристрою поблизу, який перетворює сигнал у дані, які ми можемо переглядати та використовувати. Пристрій передає радіосигнал на маршрутизатор, який підключається до Інтернету за допомогою дроту або кабелю.

Мережа Wi-Fi — це звичайне підключення до Інтернету, до якого має місце спільне використання кількох пристроїв у домі чи на підприємстві через бездротовий маршрутизатор. Маршрутизатор підключається безпосередньо до інтернет-модему та діє як концентратор для трансляції інтернет-сигналу на всі пристрої з підтримкою Wi-Fi. Це дає можливість залишатися підключеним до Інтернету, доки ми перебуваємо в зоні покриття мережі [3].

Термін Wi-Fi був створений маркетинговою організацією , оскільки індустрія бездротового зв'язку шукала зручну назву для позначення технології, відомої як IEEE 802.11 і ця назва закріпилася і зараз повсюдно використовується. Wi-Fi, який часто називають WiFi, wifi, wi-fi або wifі, часто вважають скороченням від *Wireless Fidelity* [4].

Wi-Fi використовує радіохвилі для передачі даних від бездротового роутера на пристрої з підтримкою Wi-Fi (телевізор, смартфон, планшет, комп'ютер тощо). Оскільки вони спілкуються один з одним через радіохвилі, пристрої та особиста інформація можуть стати вразливими для хакерів, кібератак та інших загроз. Особливо є вірно, коли ми підключаємося до загальнодоступної мережі Wi-Fi (у кафе чи аеропорт тощо). За наявності такої

можливості як підключення до бездротової мережі, із захистом паролем або до приватної точки доступу.

Розглянемо типи підключень Wi-Fi. Як і у випадку з послугами Інтернету, кожен тип бездротового з'єднання має свої переваги та недоліки, наприклад швидкість і потужність сигналу. Наведемо кілька з них тут.

Дротовий маршрутизатор.

Сьогодні більшість помешкань (home) або невеликих офісів (small office) використовують бездротовий роутер (маршрутизатор) для доступу до Інтернету. Достоїнством є зручність налаштування, мобільність в зоні дії Wi-Fi точки доступу (маршрутизатора) і можливість підключення декількох пристроїв одночасно. Мінуси: обмежена пропускна здатність і знижена швидкість, оскільки до однієї мережі Wi-Fi може бути підключено забагато пристроїв, а також можливі перешкоди від інших електромагнітних пристроїв у домі.

Мобільні та виділені точки доступу стають популярним способом безпечного підключення в дорозі. Характерно, що будь-який смартфон чи планшет сьогодні можна використовувати як тимчасову точку доступу, що є простим і зручним якщо це тимчасове застосування. Він простий у використанні та не потребує покупки додаткових пристроїв, але він може досить швидко скоротити час автономної роботи та передачу даних. З іншого боку, реактивний jetpack діє як спеціальна мобільна точка доступу, яка приймає сигнал із стільникових веж у регіоні, як і смартфон. До нього можна підключити більше пристроїв, і він пропонує більший діапазон Wi-Fi. А оскільки це окремий пристрій, заряд акумулятора смартфона не змінюється. Проблема полягає в тому, що потрібно купувати реактивний jetpack окремих план.

Для сільської місцевості, де можливості доступу до Інтернету обмежені, варто використати домашній інтернет 4G LTE. Він пропонує

високошвидкісний доступ до Інтернету через вежі стільникового зв'язку та мобільні мережі із середньою швидкістю завантаження близько 25 Мбіт/с. Перевагами LTE перед супутником є вища швидкість і надійність залежно від оператора.

При наявності нашої місцевості технології 5G (фіксований бездротовий доступ) його використання є найбільш оптимальним і доцільним. Навіть якщо підключити кілька пристроїв, він достатньо надійний, щоб забезпечити енергією весь дім. Стаціонарний бездротовий доступ має просте налаштування *«підключи та працюй»*, що означає відсутність додаткових проводів і потребу чекати технічного спеціаліста для налаштування.

Як відомо, існує кілька способів отримати бездротовий зв'язок вдома (або в *smalloffice*), і більшість з них залежить від географічного розташування та доступності. У сільській місцевості, швидше за все, буде доступний супутниковий і 4G LTE домашній Інтернет. Якщо є послуга дротового Інтернету, можна налаштувати власну мережу Wi-Fi вдома. Підключивши маршрутизатор до модему, можна надати доступ до свого Інтернет-з'єднання всім своїм пристроям із підтримкою Wi-Fi у межах досяжності. Якщо в будинку є випадкові мертві зони (наприклад, бетонні стіни) рекомендовано додати розширювач Wi-Fi, який передає бездротовий сигнал у ці мертві зони.

При збільшенні кількості мобільних пристроїв зростає і попит на пропускну здатність. Для того, щоб забезпечити максимальну швидкість, потрібно буде оновити план швидкості Інтернету. Існує кілька інтернет-сервісів, починаючи від оптоволокна та закінчуючи домашнім Інтернетом 5G, залежно від нашого місцезнаходження.

1.2 Li-Fi технологія

LiFi, також відома як «*Light Fidelity*», — це технологія бездротової оптичної мережі, яка використовує світлодіоди для передачі даних. Перша

демонстрація цієї технології мала місце у 2011 році як Visible Light Communication (VLC) [5].

У цілому LiFi визначається як технологія оптичного бездротового широкосмугового доступу, яка використовує видимий та інфрачервоний спектри світла для забезпечення двонаправленої можливості. Це дозволяє підтримувати висхідну та низхідну лінії зв'язку в топології «точка-точка» або «точка-багато точок» і таким чином надавати багатокористувацький доступ. Було продемонстровано, що LiFi може запропонувати підтримку мобільності як для внутрішньої, так і міжстільникової адаптації каналу переміщення та передачі.

Існує два основних варіанти передачі:

- Горизонтальний хендовер – це є можливість підтримувати з'єднання для передачі даних у мережі, коли користувач переходить від однієї клітинки до іншої, використовуючи ту саму технологію зв'язку, як-от 4G, Wi-Fi або LiFi.
- Вертикальний хендовер – можливість підтримувати підключення до мережі, у разі, коли користувач змінює принципову технологію радіодоступу, *тобто* переходить від 4G до Wi-Fi або від Wi-Fi до LiFi.

Інфраструктура LiFi складається з кількох світлодіодних лампочок, які утворюють мережу бездротового зв'язку, пропонуючи користувальницький досвід, суттєво подібний до інших технологій бездротового зв'язку, таких як Wi-Fi (за винятком використання спектру світла), через горизонтальне перенесення. У майбутньому LiFi можна буде розробити для забезпечення взаємодії з Wi-Fi, 4G або іншими радіочастотними системами, де користувач може за бажанням, навіть одночасно, підключитися до LiFi та інших РЧ, щоб запропонувати найкращу роботу користувача.

Особливістю LiFi є в тому, що та ж сама енергія світла, яка використовується для освітлення, також використовується і для широкосмугової передачі даних. Це технологія платформи з потенціалом для

доповнення та розширення існуючих можливостей радіочастотних технологій. LiFi забезпечує високошвидкісну, захищену, щільну та надійну бездротову мережу для корпоративних і домашніх середовищ і діє як засіб для створення розумних будівель, інтелектуального транспорту та розумних міст.

Головними рисами LiFi-технології є, зокрема, такі параметри:

- висока швидкість;
- двонаправленість;
- повне підключення до мережі;
- оптичний бездротовий зв'язок.

У зонах, охоплених мережевим освітленням, система LiFi підтримує випадкове розташування користувачів. Система LiFi складається з кількох невеликих осередків, розміри осередків мають радіус кількох метрів або менше. Таким чином, LiFi не тільки виграє від додаткового вільного спектру, але також виводить концепцію малих комірок на новий рівень, тому що спектр світла може і використовується повторно частіше порівняно з поточними системами мобільного радіо. Як наслідок, можна досягти вищої пропускну здатності мережі [6].

Рисунок 1.1 ілюструє ключові параметри, які визначають LiFi. Швидкість передачі LiFi знаходиться в діапазоні 10 Мбіт/с-1 Гбіт/с зі світлодіодним освітленням і може досягати понад 5 Гбіт/с з новими поколіннями пристроїв SolidStateLighting.

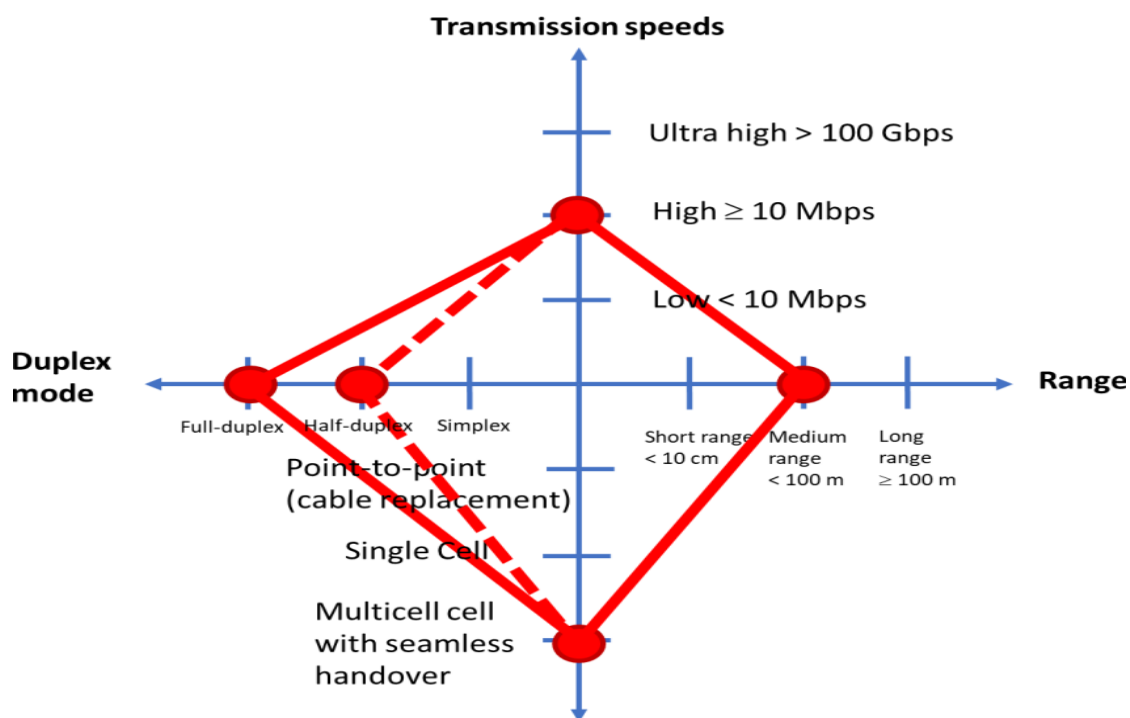


Рисунок 1.1 - Загальні параметри системи, які визначають LiFi

Дуплексний режим відноситься до системи зв'язку, де дві підключені сторони або пристрої можуть спілкуватися один з одним в обох напрямках. Існує два типи дуплексних систем зв'язку: повнодуплексний (FDX) і напівдуплексний (HDX). У повнодуплексній системі обидві сторони можуть спілкуватися одна з одною одночасно на одних і тих же ресурсах часу та частоти. У напівдуплексній системі кожна сторона може спілкуватися з іншою, але не одночасно; комунікація відбувається в одному напрямку за часом або за частотою. Системи LiFi підтримують зв'язок FDX, але також часто використовують зв'язок HDX.

Рисунок 1.2 ілюструє зв'язок у видимому світлі, також відомий як VLC. Цей ефект можна визначити як передачу даних за допомогою джерел світла, що випромінює видимі довжини хвиль від 400 до 800 ТГц (780–375 нм). Це підмножина технологій оптичного бездротового зв'язку.

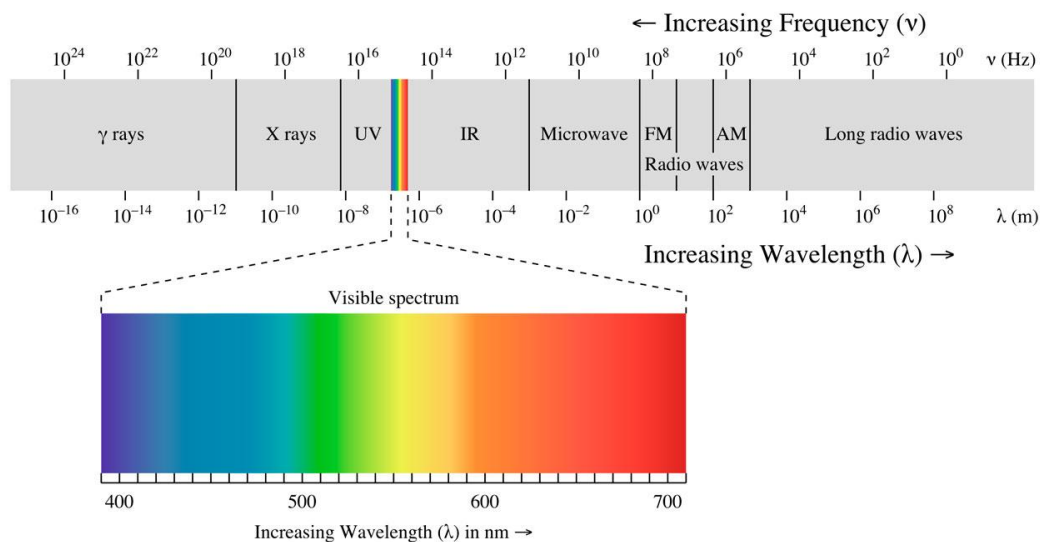


Рисунок 1.2 - Електромагнітний спектр

Порівняємо LiFi та Wi-Fi.

LiFi використовує світло для передачі даних, тоді як Wi-Fi використовує електромагнітні хвилі на радіочастотах для передачі даних. Завдяки меншій інтерференції від світла порівняно з радіочастотними хвилями, його використовують у більш щільних середовищах.

Рисунок 1.3 підкреслює відмінності між LiFi та Wi-Fi технологіями. Відмітимо лише, що LiFi охоплює відстань близько 10 метрів, тоді як Wi-Fi охоплює близько 30 метрів. Інші особливості цих технологій ми бачимо на рисунку 1.3.

Features	Li Fi	Wi Fi
Full name	Light Fidelity	IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineering) 802.11x
Work of operation	Transmission of data using light via LED bulbs	Transmission of data using radio waves via Wi Fi router
Technology	Present IrDA (Infrared Data Association) compliant devices	WLAN (Wireless Local Area Network) 802.a/b/g/n/ac/ad standard compliant devices
Practical Applications	Underwater communications, Security, Hospital, Industrial automation, Airplanes, Military, Retail, Museums, Trains, Car to Car communications, GPS, Augmented Reality, Virtual Reality	Security, Hospital, Vehicles, Industrial automation, Military, Retail, Museums, Trains, GPS, Augmented Reality, Virtual Reality
Interference	No interference issues	Interference issues from nearby access points
Transmission Security	Light cannot go through walls and therefore will provide a more secure data transfer	RF can go through walls and therefore need to employ techniques for secure data transfer
Data Transfer Speed	Can reach transfer speed between 1Gpbs to 20Gpbs	150Mbps with WLAN 11n, 1Gbps to 2Gpbs with WiGig/Giga-IR
Frequency of operation	10,000 times frequency spectrum of radio waves	2.4GHz, 4.9GHz and 5GHz
Data Density	Work in High dense environments	Work in Less dense environments

Рисунок 1.3 - Відмінності між LiFi та Wi-Fi

Вартість LiFi.

Отримання продуктів LiFi від різних компаній LiFi може бути дуже дорогим для споживачів. Наразі фірми працюють над мініатюризацією технології LiFi, а також роблять її доступною для споживачів у довгостроковій перспективі. Кінцева мета — мати LiFi у кожному мобільному пристрої. Це означає, що технологія буде доступною для інтеграції в телефони, планшети та ноутбуки.

Зрештою, кінцевий споживач побачить мінімальні витрати, пов'язані з LiFi, оскільки мета полягає в тому, щоб LiFi був вбудований у кожен бездротовий мобільний пристрій. Сьогодні компанії можуть обговорити з організацією pureLiFi роботи над концептуальними проектами та іншими типами установок. Ціна цих установок визначається на основі індивідуальних вимог. PureLiFi пропонує лише послуги B2B [7].

PureLiFi нещодавно почав пропонувати стартовий набір LiFi для малого бізнесу та установ за ціною 2500 фунтів стерлінгів без урахування доставки та мит. Стартовий набір LiFi включає наступне:

2x - станції LiFi.

На рисунках 1.4, 1.5 та 1.6 наведено зовнішній вигляд окремих складових станції LiFi.



Рисунок 1.4 - USB-ключ для надсилання та отримання даних до точки доступу та з неї



Рисунок 1.5 – Шлюз LiFi з відповідними драйверами

Цей шлюз допоможе підключитися до ламп із підтримкою LiFi для надсилання та отримання даних.



Рисунок 1.6 демонструє приклад LiFi світильника (Lucisip II)

1.3 Технологія OCC

Технологія Optical Camera Communication (OCC) використовує видимий і ближній інфрачервоний спектр для односпрямованого (симплексного) зв'язку з дуже низькою швидкістю передачі даних (від кількох біт/с до кбіт/с) у широкоповному режимі. Світлодіоди підсвічування виробляють фіксовані коди, які втілюються у світлі та можуть використовуватися приймачами OCC. Однак через відсутність зворотного каналу немає підтримки мобільності між комірками, тобто немає хэндовера або роумінгу [8].

Загалом, енергія, яка використовується для освітлення, може бути використана для постійного забезпечення цього трансляційного сигналу, тобто до тих пір, поки світло ввімкнено. OCC можна використовувати для надання точного позиціонування в приміщенні та обмеженої кількості інформації, подібно до того, як глобальна система позиціонування (GPS) використовується для визначення позиціонування на відкритому повітрі. Таким чином, OCC може служити практично в подібних випадках використання, як GPS, за винятком того, що він працює всередині приміщень.

OCC можна об'єднати з такими радіочастотними технологіями, як 4G/5G, Wi-Fi, Bluetooth тощо, щоб надати комплексну пропозицію послуг на основі визначення місцезнаходження, пропонуючи точність до метра в приміщенні. Ці системи вже протестовані та ефективно розгорнуті, щоб

запропонувати операційні покращення для мереж роздрібної торгівлі, торгових центрів і навіть великих офісних приміщень і майданчиків.

1.4 Використання LiFi технології

Рисунок 1.7 ілюструє концепцію мережі LiFi. Кімната освітлюється кількома освітлювальними приладами, які забезпечують освітлення та оптичну точку доступу (AP) для користувачів у межах шаблону освітлення світла. Освітлення може модулюватися з високою швидкістю, непомітною для людського ока та забезпечуючи оптичний низхідний канал. Оптична висхідна лінія реалізується за допомогою передавача на обладнанні користувача (UE), часто з використанням джерела ІЧ-променів (тому він невидимий для користувача), і приймача поблизу освітлювального приладу. Кожен із цих освітлювальних приладів, діючи як бездротові точки доступу LiFi, створює надзвичайно малу оптичну комірку (атокомірку), яка доступна на додаток до радіочастотного покриття в кімнаті. Таким чином, LiFi має великий потенціал для вирішення складної проблеми бездротового покриття всередині приміщень, що особливо важливо, оскільки понад 80% бездротового трафіку споживається в приміщенні.

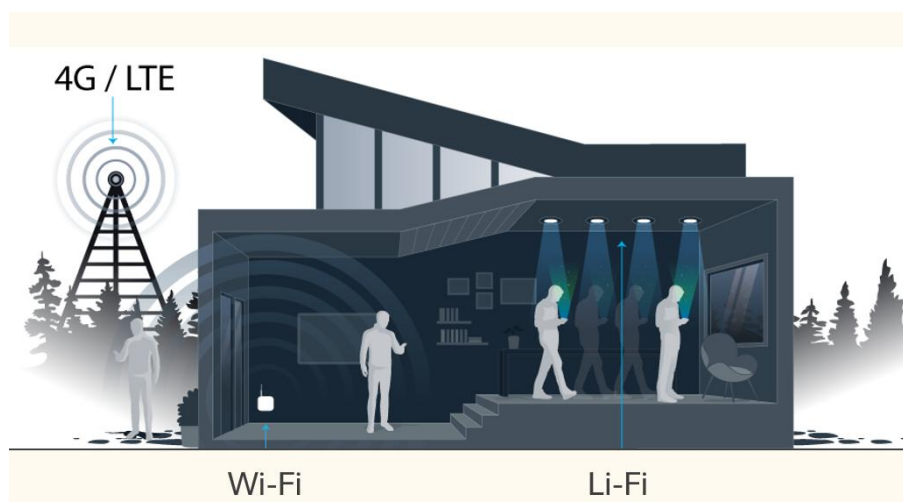


Рисунок 1.7 - Концепція мереж LiFi

Однак збільшення щільності бездротових точок доступу також впливає на вартість відповідної магістралі. На щастя, живлення та дані можуть бути забезпечені кожним освітлювальним приладом за допомогою кількох різних методів, включаючи живлення через Ethernet (PoE) і зв'язок по лінії електропередач (PLC). Окремо як PoE, так і PLC мають переваги та недоліки, але разом вони можуть охоплювати широкий спектр випадків використання в сучасних будівлях. Крім того, ці розробки та їх інтеграція в загальні системи будівлі обумовлені двома іншими макротенденціями. З одного боку, зростаючий інтерес до підключених технологій SmartBuilding, які використовують як існуючу, так і нову інфраструктуру, забезпечує величезний потенціал для забезпечення енергозбереження, а також для отримання кращого розуміння того, як використовуються будівлі, що підвищує комфорт і ефективність власників та користувачів будівель. З іншого боку, триває революція світлодіодного освітлення, коли ми бачимо, як звичайні світильники та інвестиції в інфраструктуру освітлення замінюються сучасними світлодіодними світильниками. Поєднання цих тенденцій дає унікальну можливість для розгортання точок доступу LiFi [9].

У стільникових мережах щільне просторове повторне використання бездротових ресурсів використовується для досягнення дуже високої щільності даних – біт на секунду на квадратний метр (біт/с/м²). Однак зв'язки, що використовують один і той самий канал у сусідніх комірках, створюють перешкоди один одному, що відомо як перешкоди в одному каналі (CCI).

Рисунок 1.8 ілюструє CCI в оптичній мережі.

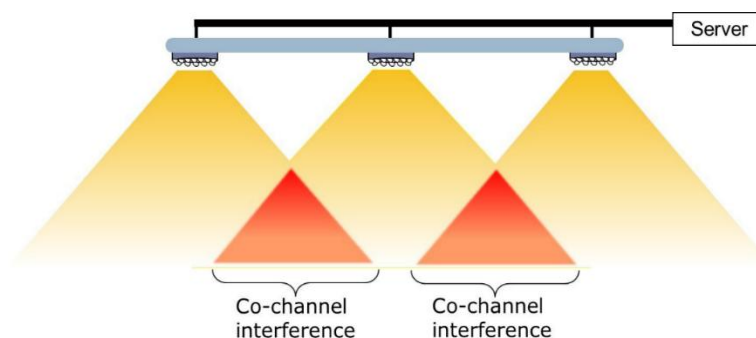


Рисунок 1.8 – Накладання декількох точок доступу

Перехід від зв'язків «точка-точка» до повноцінних бездротових мереж на основі світла створює кілька проблем. У кожній кімнаті може бути кілька користувачів, тому потрібна складна схема доступу до середовища. Надання висхідної лінії також може вимагати іншого підходу, ніж низхідна лінія через обмежене споживання енергії. Залежно від бездротової служби трафік висхідної та низхідної лінії може бути симетричним або асиметричним. Асиметричний трафік надає можливості для механізмів, які призводять до підвищення енергоефективності [10].

Накладання двох джерел світла у LiFi-мережі проілюстровано рисунком 1.9.

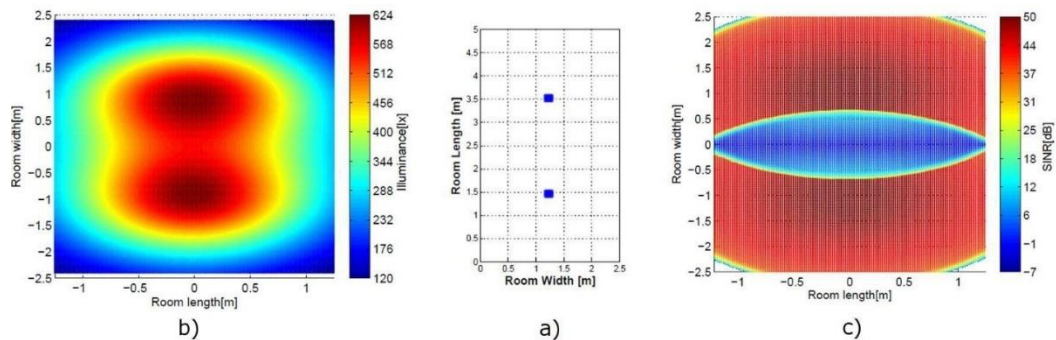


Рисунок 1.9– Накладання двох джерел світла у LiFi-мережі

У наведеному прикладі (рис. 1.9) розглянуто використання LiFi у кімнаті розміром $2,5\text{ м} \times 5\text{ м}$, яка оснащена двома світильниками LiFi, встановленими на висоті 3 м вертикально вниз. Світильники LiFi зображені двома синіми квадратами на рис. 1.9,а). Обидва світильники використовують однаковий спектр видимого світла для передачі незалежної інформації. Передбачається, що приймачі спрямовані вертикально вгору на висоті столу 0,75 м. Освітленість на висоті столу проілюстрована на рис. 1.9,б). Результуючий спектр за умови, що кут огляду приймача становить 45° , зображений на рис. 1.9,с).

Мережі LiFi можуть забезпечити додаткову пропускну здатність без перешкод для радіочастотних мереж, які, можливо, вже існують, і, отже,

мають потенціал для розширення стільникових систем 5G економічно ефективним способом. На рисунку 1.9,b) показано результуючу освітленість при висоті столу 0,75 м, коли світильники встановлені на висоті стелі 3 м. У конкретному прикладі світильники розміщені таким чином, що в межах площини на висоті столу 90% площі досягає освітленості 400 люкс на основі типових вимог до освітлення. На рис. 1.9,c) зображено результуюче співвідношення сигнал/перешкода плюс шум (SINR). Область, де світлові конуси перекриваються, буде піддаватися сильному CCI, якщо той самий бездротовий ресурс використовується в обох комірках, і SINR значно падає. Цікаво відзначити, що SINR може змінюватися на 30 дБ в межах кількох сантиметрів. Той самий графік показує, що пік SINR може становити близько 50 дБ, що на два-три порядки вище, ніж у мобільних системах на базі радіочастот (РЧ). Зауважимо, що пік SNR у радіочастотних системах зумовлений перешкодами від бічних пелюсток антен, що випромінюють назад.

Тут не враховується наявність розсіяного світла, яке відбивається від навколишніх предметів. Розсіяне світло може бути на 20-30 дБ нижчим за сигнал, що надходить із прямої видимості. Без керування перешкодами досяжна швидкість передачі даних сильно залежала б від компонування мережі, розташування приймача та його поля зору (FoV). Подібно до мобільного радіо, потрібні складні методи пом'якшення перешкод, щоб переконатися, що пристрій LiFi може досягти високого SINR у регіоні з сильним CCI. Дійсно, фундаментальним рішенням є скоординована множинна точка, у якій географічно розділені точки передачі координують свої передачі на термінал таким чином, що вони конструктивно поєднуються в приймачі, а перешкоди поєднуються деструктивно в той же час. Таким чином, зникнуть будь-які перешкоди між осередками, а спектральна ефективність системи покращується як у середньому, так і на краях між осередками. Тим не менш мережі LiFi спочатку можна легко розгорнути за допомогою набагато

простіших методів керування перешкодами, подібних до поточних мобільних мереж. Тоді продуктивність можна покращити, якщо збільшити складність і накладні витрати.

LiFi матиме каталітичний ефект для конвергенції двох основних галузей: 1) галузі бездротового зв'язку та 2) індустрії освітлення. З прискоренням темпів проникнення на ринок освітлення, світлодіоди надають можливість кращої пропозиції зі збільшенням витрат/енергії та відкривають нові можливості для бізнесу для виробників і фінансистів. Дійсно, системи керування освітленням значно розширюють функції, які може виконувати світильник, роблячи освітлення центральною частиною концепцій SmartHome, SmartCity, IoT та Edge. Вже з'являються нові бізнес-моделі, такі як володіння інфраструктурою освітлення третьою стороною де LiFi базується на цих системах і концепціях, щоб задовольнити зростаючі потреби нашого суспільства, окрім освітлення – бездротового зв'язку. Таким чином, поєднання цих інноваційних концепцій із LiFi забезпечить бізнес-модель «притягнення» для індустрії освітлення, щоб вийти на те, що традиційно було ринком. У індустрії бездротового зв'язку, а також у ширшому контексті 5G і внутрішнього середовища – звідки походить більшість користувачів і попит – гетерогенні мережі забезпечать покращену якість обслуговування та покриття. Гібридна система LiFi та RF покращить підключення та пропускну здатність у приміщенні, запропонувавши розвантажити трафік. Дійсно, LiFi має потенціал для відкриття додаткового неліцензійного спектру та сприяння економічно ефективного розгортанню надзвичайно щільних мереж у приміщеннях, що є важливим для зменшення необхідних інвестицій для наступного покоління бездротового зв'язку. Однак важливою передумовою для широкомасштабного впровадження технології LiFi є наявність стандартів. У цьому контексті в IEEE 802.11 почалися спроби стандартизувати LiFi як інший фізичний рівень у групі бездротових локальних мереж IEEE 802.11. Рисунок 1.10 показує, яким чином здійснюється перехід від сантиметрових хвиль до міліметрових хвиль.

Cellular Generations	Paradigm Shifts	Service pull	Impact
1G → 2G	Analogue to digital	Mobile telephony	Revolution
2G → 3G	Small cell concept	Mobile Internet	Evolution
3G → 4G			
4G → 5G	Multi-Access Network	Machine to machine communications	Evolution
Beyond 5G New Radio (3GPP Rev. 15)	RF to Light	LaaS, IoT and eMBB	Revolution

Рисунок 1.10 - Перехід від см-хвиль до мм-хвиль

Цей перехід вже відбувається в 5G. Зміна парадигми, яку запроваджує LiFi, — це перехід від стільникового зв'язку з сантиметровими хвилями до стільникового зв'язку з нм-хвилями. Очевидно, що LiFi є доповненням до радіочастот і додає значну пропускну здатність нашим бездротовим мережам, які дедалі більше страждають від дефіциту радіочастотного спектру.

Для кращого розуміння розглянутих вище технологій бездротового зв'язку наведемо їх порівняльну характеристику у вигляді таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика

Parameter	Li-Fi	Wi-Fi
Spectrum used	Visible light	RF
Standard	IEEE 802.15.7	IEEE 802.11
Range	Visible light spectrum has 10000 times broad spectrum in comparison to RF	Less than Visible light spectrum
Security	Very High	High
Data transfer rate	Very high (~ 1Gbps)	Low (100Mbps - 1Gbps)
Power consumption	Low	High
Cost	Low	High
Bandwidth	Unlimited	Limited

1.5 Безпека в бездротових мережах

Характерною особливістю бездротових мереж стандарту Wi-Fi (802.11) є ризики несанкціонованого доступу до мережі третіми особами. Далі ми проаналізуємо безпекові принципи, що покладено в основу бездротового стандарту.

Стандарти для бездротового зв'язку окреслюють дві форми автентифікації – асоціація відкритої системи (Open System Association - AOS) та автентифікація спільного ключа (Shared Key Authentication SKA).

З WEP було багато проблем, що пов'язані з його використанням у бездротових програмах. Спочатку WEP був алгоритмом для дротового середовища, але він погано підходить для бездротового зв'язку.

Коли було виявлено численні вразливості WEP, IEEE створив групу 802.11i для підвищення безпеки бездротового зв'язку. WPA надала «перехідну мережу безпеки» — перший крок у процесі розробки «надійних мереж безпеки».

Однією з труднощів у переробці WEP було створити більш безпечний процес шифрування, використовуючи при цьому поточне обладнання. Впровадження WPA було етапом перехідної безпеки, спрямованої на усунення вразливостей у WEP, у той час як було розроблено надійніше довгострокове рішення.

Альянс Wi-Fi був створений для створення платформи безпеки з можливістю взаємодії між основними постачальниками. (WPA походить від «Wi-Fi Protected Access»). Це був не стандарт і навіть не структура, а спеціальна коаліція постачальників бездротового зв'язку, які мали спільну мету взаємодії [11].

WPA був перед стандартною підмножиною 802.11i, який використовував як визначене керування ключами, так і архітектуру автентифікації (802.1X), визначену в 11i. Оскільки поточне апаратне

забезпечення не підтримувало б AES (зазначений у 802.11i), замість цього WPA вказав TKIP (протокол цілісності тимчасового ключа).

WPA використовує РМК для створення РТК (сеансових ключів). Набори ключів створюються для кожного сеансу (коли станція зв'язується з точкою доступу). Функція PSF (псевдовипадкова функція), щоб РТК включала nonce, лічильники MAC-адрес, час і випадкові числа. Зміна дизайну створення та використання ключа допомагає захистити головний ключ, зменшивши доступність ключа.

Інші функції були вдосконалені в WPA для підвищення безпеки.

Стандарт IEEE 802.11i такий самий, як і WPA2. Нарешті ми отримали більш потужне апаратне забезпечення та шифрування та досягли ідеальної «надійної мережі безпеки» IEEE, використовуючи шифрування AES із WPA2.

Поточна безпека бездротового зв'язку 802.11i/WPA2 дуже схожа на попередній стандарт WPA, з кількома відмінностями. Наприкінці запропонованого переходу на 802.11i було запущено шифрування AES, оскільки апаратне забезпечення було оновлено, щоб уможливити зміни.

Найбільші зміни від WPA до WPA2:

Перехід до AES. Наприкінці запропонованого переходу на 802.11i було запущено шифрування AES, оскільки апаратне забезпечення було оновлено, щоб уможливити зміни. До речі, Advanced Encryption Standard (AES), також відомий під назвою Rijndael це симетричний алгоритм блочного шифрування (розмір блока 128 біт, ключ 128/192/256 біт).

Розширена перевірка цілісності використовує AES для CCMP на основі AES. Стандарт 802.11i використовує 802.1X для безпечного встановлення ключа та аутентифікації.

Застосування бездротової мережі Li-Fi в будь-якому замкненому приміщенні забезпечує локальний доступ до мережі в межах (стінах) цього приміщення без додаткових пристроїв чи спеціального ПЗ спрямованого на обмеження доступу до мережі [12].

2ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗДРОТОВОЇ LI-FI-МЕРЕЖІ

2.1 Розробка Li-Fi мережі

У загальному випадку принцип структури Li-Fi мережі в приміщенні має вигляд, як це представлено на рисунку 2.1.

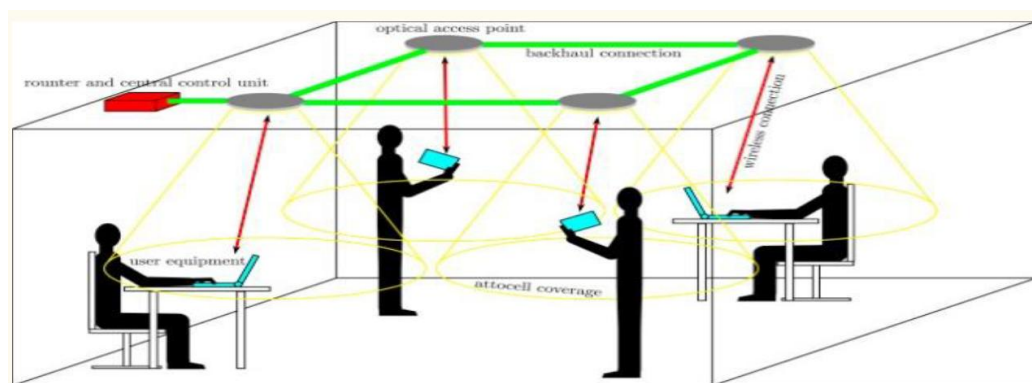


Рисунок 2.1- Загальний принцип організації Li-Fi мережі

Скоріше за все таке приміщення відрізняється від будь-якого іншого тим, що в якості освітлення приміщення використано LED-лампи в яких вбудовано Li-Fi адаптери. Такі ж адаптери вбудовано і в мережеві пристрої користувачів причому всі ці адаптери орієнтовано як на прийом інформації, так і на її передачу або ж вони можуть бути приймально-передаючими одночасно.

Слід зауважити, що доступ до такої мережі принципово мають лише ті користувачі, пристрій яких знаходиться лише у зоні покриття передаючого Li-Fi пристрою. Звичайно, крім того всі абоненти певної локальної мережі повинні бути авторизованими в цій мережі. Тобто, в цьому сенсі будь-яка Li-Fi мережа є захищеною і обмеженою територією приміщення локальної Li-Fi мережі (рис.2.2).

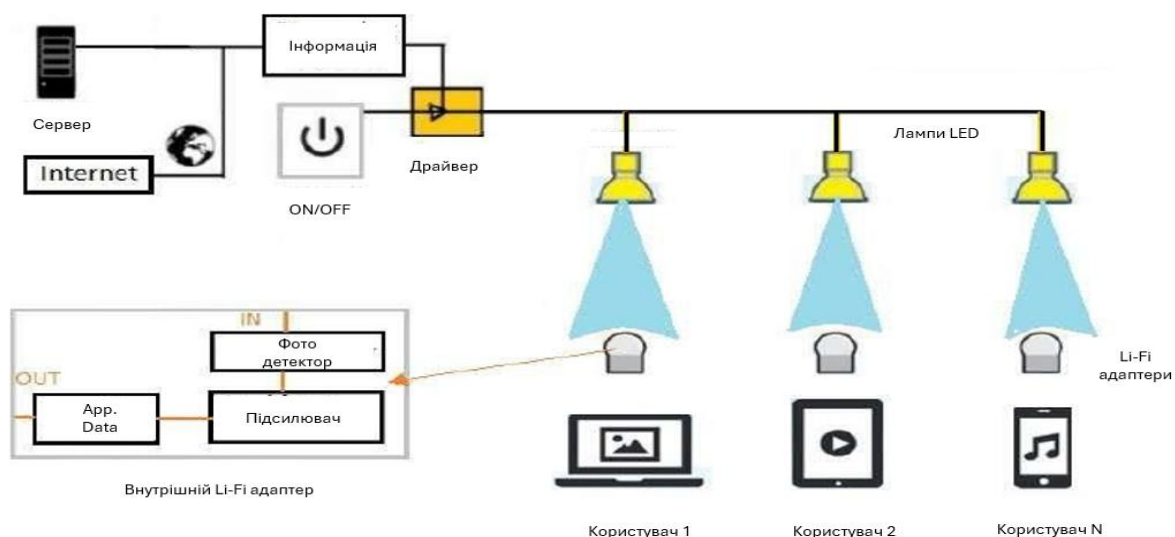


Рисунок 2.2 - Структура Li-Fi мережі

Загальний вигляд приміщення де розміщено захищену Li-Fi мережу наведено на рисунку 2.3.

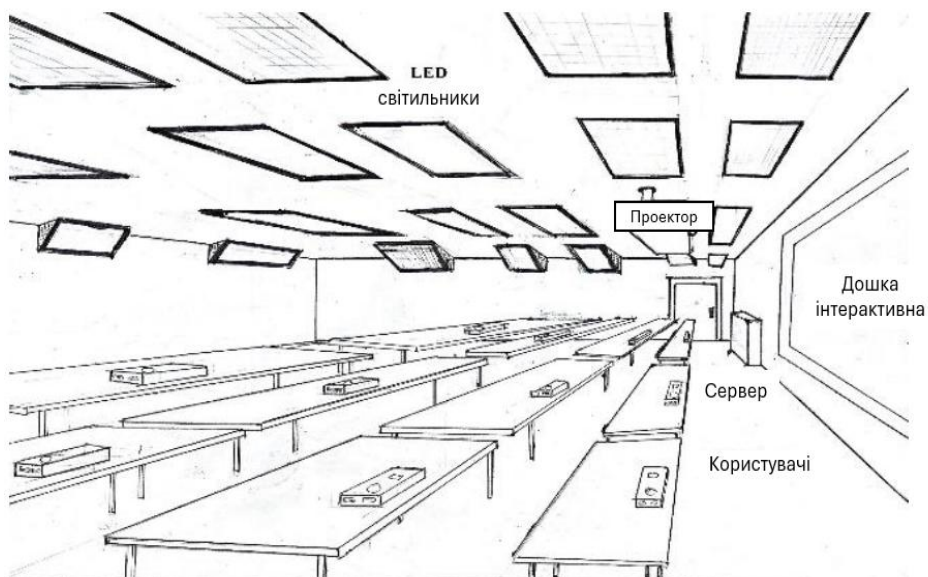


Рисунок 2.3 – Приміщення з розгорнутою захищеною Li-Fi мережею

На рисунку 2.4, а) показано вигляд типової LED-лампи передачі інформації . Сонячна панель буде не тільки виробляти енергію, але й виступати в якості приймача Li-Fi сигналів. Далі буде наведено більш сучасні пристрої

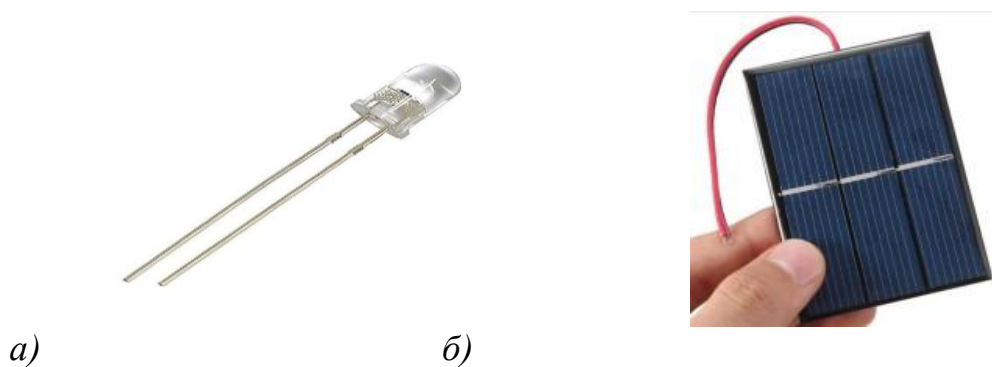


Рисунок 2.4 – Елементи оснащення Li-Fi приміщення; а) LED-лампа передавач; б) сонячна панель в якості приймача Li-Fi сигналів

Ще одне сучасне рішення – світлової антени наведено на рисунку 2.5. Фізичні розміри цієї антени дозволяють її використання в переносних пристроях типу ноутбук чи смартфон.



Рисунок 2.5 – Світлова антена ONETM

2.2 Використання Li-Fi технології в приміщеннях ВНЗ

Вищі навчальні заклади (ВНЗ) надають широкі можливості для застосування цієї технології. Яскравим прикладом слугує приміщення бібліотеки (читальної зали) обладнане доступом до локальної (також іглобальної) мережі за посередництвом Li-Fi технології (рисунок 2.6).

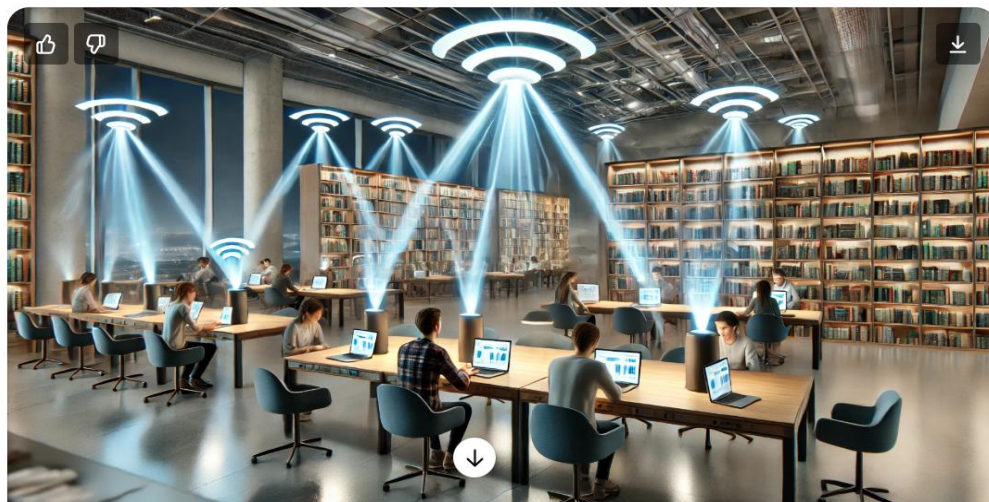


Рисунок 2.6 – Приміщення університетської бібліотеки оснащене пристроями Li-Fi технології (рисунок згенеровано ШІ ChatGPT 4.0)

Тут ми бачимо, що в якості освітлення приміщення використано LED-світильники, які є в той же час і передавачем інформації, котрий підключений до університетської локальної мережі, яка в свою чергу підключена до глобальної мережі Інтернет. Таким чином, завдяки тому, що кожне робоче місце в залі оснащено спеціальним приймачем/передавачем. Отже всі робочі комп'ютери мають з'єднання з Інтернетом. При чому, при віддалені у просторі від робочих місць цей зв'язок втрачається якщо мобільні пристрої не мають світлової антени, як це показано на рисунку 3.5. До того ж зауважимо, що при віддалені мобільного приймача від LED-світильника на відстань більше 10 м зв'язок із мережею буде втрачено. Отже ми можемо стверджувати, що ця локальна бездротова Li-Fi-мережа є в певному сенсі захищеною від несанкціонованого доступу до неї.

Треба зауважити, що подібним чином можна обладнати також інші приміщення ВНЗ, такі як навчальні аудиторії, лабораторії та інші приміщення навчального закладу. Звичайно, всі ці ідеї з оснащення приміщень доступом до інтернету, можна віднести й до будь якої установи чи підприємства. При цьому окрім інформаційного забезпечення приміщень, вони будуть забезпечені також сучасним досить економічним LED-освітленням.

2.3 Сучасні напрямки розвитку та застосувань Li-Fi технології

Одним із важливих напрямків подальшого розвитку Li-Fi технології є інновації у швидкості передачі даних в цих мережах, серед яких відмітимо [13]:

Використання багатоканальної передачі.

Річ у тому, що Li-Fi здатний одночасно передавати дані через різні довжини хвиль світла, що суттєво збільшує пропускну здатність, а значить – збільшує швидкість передачі даних. Усі ці додаткові канали передачі інформації є незалежними і не конфліктують один з одним.

Нові матеріали для світлодіодів:

Нижче наведено кілька прикладів нещодавніх оновлень світлодіодної технології.

Традиційно системи світлодіодного освітлення вимагали зовнішніх драйверів друкованих плат, здатних перетворювати системне електричне живлення в струм приводу, придатний для роботи світлодіода, і, таким чином, виробляти видиме світло від діода стабільним способом. Зараз з'являються нові продукти, які дозволяють видалити зовнішні драйвери з рівняння дизайну. На їхньому місці знаходяться світлодіодні мікросхеми постійного струму, які задовольняють усі вимоги до живлення світлодіодів безпосередньо на мікросхемі. Це забезпечує більш компактну упаковку та безліч нових застосувань продукту. Крім того, світловіддача відносно вартості продовжує зростати в галузі [14].

Ще одна розробка полягає в нових виробничих процесах для створення масивів світлодіодів, які можуть бути корисними в продуктах. Наприклад, дослідницький центр у Фінляндії створив гнучку світлодіодну плівку, що формується за допомогою процесу «рулон-на-рулон» (roll-to-roll). Це досягнення допомагає продемонструвати, що процес «рулон до рулону» підходить для виробництва гнучких світлодіодних дисплеїв, які містять друковану електроніку. Це також має потенціал для значного скорочення витрат на цей тип продукції.

Li-Fi схожий на Wi-Fi, за винятком того, що світло від світлодіодів використовується шляхом модуляції вмикання та вимикання світла з високою швидкістю, створюючи мережу передачі даних. Це може бути корисним для зв'язку в зонах, чутливих до електромагнітного випромінювання, а також потенційно мати дуже широкий спектр пропускну здатності для даних і дуже високу швидкість передачі даних. Ця промислова технологія освітлення залежить від видимого світла, тому не може проходити крізь стіни; тому він припустив, що його роль може найкраще підходити до домашніх та архітектурних мереж, де мережеве освітлення можна розмістити від кімнати до кімнати. Цей продукт зараз виходить із фази дослідження. Розробка галузевих стандартів і фактичні зусилля з комерціалізації тривають по всьому світу в ряді організацій.

2.4 Інтеграція з Інтернетом речей (IoT)

Є кілька напрямків розвитку Li-Fi технології але мабуть головним з них є перспектива її інтеграції з технологією Інтернету речей. Перелічимо коротко ці напрямки.

Це забезпечує доступ до інтернету для пристроїв IoT, таких як термостати, побутові датчики тощо. Підкреслимо, що ця технологія є досить

привабливою ще й точки зору економії споживаної електроенергії на освітлення порівняно з традиційним освітленням приміщень.

Індустріальний IoT. Цей різновид IoT технології набуває зараз широкого застосування на виробництві. Li-Fi застосовується у середовищах, де радіосигнали можуть створювати перешкоди, наприклад, у заводах, складських приміщеннях та на інших подібних територіях, де застосування радіочастотних засобів передачі інформації (наприклад, WI-FI) є небажаним, а інколи і зовсім неприпустимим.

Розвиток індустрії безпеки даних останнім часом становить важливий напрямок у кібернетизації (цифровізації) багатьох організацій, підприємств та установ.

Розглянемо деякі аспекти цієї проблеми:

Обмеження радіусу дії: Як згадано раніше, Li-Fi працює лише у зоні видимості світла, що робить його ідеальним для захищених мереж від стороннього втручання в їх функціонування несанкціонованими користувачами. У цьому сенсі безпечна зона доступу до інтернету лімітована непрозорими стінами приміщення чи непрозорими перегородками.

Шифрування світлових сигналів: Удосконалення сучасних алгоритмів шифрування для забезпечення безпечної передачі даних є важливою складовою цього напрямку.

Розумне місто. Вкажемо ще один дуже важливий напрямок розвитку Li-Fi-технології в нашому суспільстві: це її використання в транспорті.

Автомобілі: Li-Fi забезпечує зв'язок між транспортними засобами (V2V) і дорожньою інфраструктурою (V2I) для безпечного водіння.

Громадський транспорт: Забезпечення пасажиром доступу до швидкого інтернету в автобусах, поїздах і метро.

Розумне вуличне освітлення: Ліхтарі одночасно слугують джерелами інтернету, надаючи доступ громадянам, спеціальним службам (поліція, служба порятунку, пожежні служби, тощо) і підключаючи міські датчики.

Бізнес-простори: Установлення Li-Fi для швидкої та безпечної передачі даних у конференц-залах і офісах.

Медицина та охорона здоров'я.

Операційні зали: Li-Fi використовується для передачі даних медичних приладів без радіоперешкод.

Лікарняні палати: Застосування для підключення пацієнтських моніторів і забезпечення інтернет-доступу.

Школи та університети: Установлення Li-Fi у великих аудиторіях і бібліотеках, забезпечуючи швидкий доступ до навчальних матеріалів.

Музеї: Інтерактивні виставки, що передають контент через Li-Fi на пристрої відвідувачів.

Використання у підводних технологіях.

Підводні дослідження: На відміну від Wi-Fi, Li-Fi ефективно працює під водою, забезпечуючи зв'язок для підводних апаратів і датчиків.

Перевагою Li-Fi технології є висока швидкість передачі даних (до 224 Гбіт/с у лабораторних умовах). При цьому відмічено мінімальні електромагнітні завади при передачі чи прийнятті інформації. До того ж поєднання з освітленням зменшує витрати на інфраструктуру.

Відмітимо, що поруч з перевагами мають місце і виклики та обмеження цієї технології: необхідність прямої видимості між пристроями; втрата сигналу при блокуванні світла; висока вартість обладнання на початкових етапах впровадження.

Тим не менш, технологія Li-Fi активно розвивається та знаходить застосування в різноманітних сферах, від розумних міст до медицини й транспорту. Її інтеграція з IoT і розвиток безпроводних технологій роблять його важливим компонентом цифрового майбутнього.

3 ПОБУДОВА LI-FI МЕРЕЖІ

3.1 Стратегія побудови бездротової локальної Li-Fi мережі

Треба зауважити, що оскільки принципи і структура бездротової локальної Li-Fi мережі подібні тим же принципам, які мають місце, що і при побудові класичної бездротової Wi-Fi мережі, ми лише в загальних рисах опишемо стратегія побудови бездротової локальної Li-Fi мережі. А саме, основи структури Li-Fi мережі описано в розділі 2 цієї роботи. В цьому розділі на рисунку 2.2 наведено структуру Li-Fi мережі.

Рисунок 3.1 показує результати проектування та побудови бездротової локальної Li-Fi мережі, принцип створення якої було розглянуто раніше (рис. 2.2).

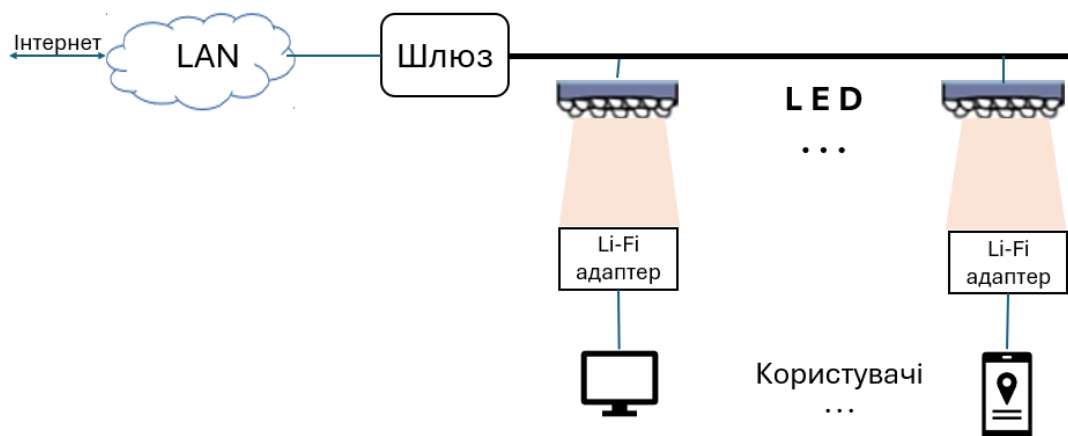


Рисунок 3.1 – Результат проектування бездротової Li-Fi мережі

Звичайно, розроблена структура потребує масштабування та адаптації при її застосуванні в реальних умовах та вимогах конкретного приміщення де планується використання цієї Li-Fi мережі. При цьому таке застосування Li-Fi

не вимагає суттєвої реконструкції та реконфігурації існуючої локальної мережі закладу (підприємства).

Таку роботу доцільно розпочинати з модернізації системи освітлення приміщення: встановити LED освітлювачі відповідного типу (наприклад, див. рис. 1,6 атестаційної роботи), встановити джерело живлення, реорганізувати в разі потреби існуючу кабельну систему електроживлення приміщення тощо.

3.2 Випробовування працездатності елементів Li-Fi мережі

В умовах досить обмежених технічних можливостей задля випробовування працездатності Li-Fi мережі нами було прийнято рішення перевірити спроможність окремих елементів Li-Fi мережі передавати та отримувати інформацію в якості носія інформації світловий потік.

Було вирішено в якості джерела інформації використати смартфон з якого передавався звуковий музичний потік. А в якості приймача цієї інформації використати невелику сонячну панель (рисунок 2.4 а) та б), де рис. 2.4, а) – передавач світла, а 2.4, б) – приймач (сонячна панель), до якої приєднано невеличку звукову колонку.

Просту електричну схему з'єднання (експеримента) наведено на рисунку 3.2. Зауважимо, що в нашому випадку ми використали стандартний елемент живлення 9 В. Параметр обмежувального резистора $R_{обм}$ було знайдено дослідним шляхом. Річ у тому, що цей параметр залежить як від типу світлодіода, так і від елемента живлення.

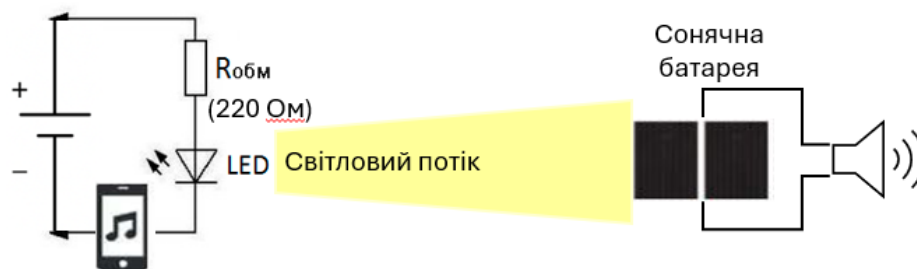


Рисунок 3.2 - Електрична схема експеримента

Експеримент провадився наступним чином: джерело світла та приймач (сонячна батарея) мала свої кріплення і в процесі роботи дистанція між ними встановлювалася від декількох сантиметрів до 65 см. На світлодіод подавався сигнал від джерела звуку, а саме від виходу смартфона який транслював музику. В процесі експерименту між передавачем (LED) і приймачем (сонячна батарея) час від часу встановлювався екран, щоб упевнитися, що передача музики без перешкоди передавалася приймачеві. А також змінювалася дистанція між джерелом та приймачем. Схема функціонувала стабільно. Світлини з результатами експерименту наведено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 - Результати експерименту

3.3 Застосування технології Li-Fi та її перспективи

Розглянемо можливості практичного використання цієї технології.

Внутрішнє освітлення та передача даних

Li-Fi можна інтегрувати в існуючі системи внутрішнього освітлення для забезпечення високошвидкісного доступу до Інтернету. Це особливо корисно в таких середовищах, як офіси та будинки, де потрібно підключити декілька пристроїв одночасно.

Застосування в медицині

Li-Fi можна використовувати в медичних установах для передачі даних без перешкод для медичного обладнання, яке покладається на радіочастоти. Це забезпечує більш безпечний і надійний спосіб підключення медичних пристроїв.

Промислове використання

У промисловому середовищі Li-Fi можна використовувати для створення безпечних мереж зв'язку без перешкод. Це має вирішальне значення в умовах, де цілісність і безпека даних є найважливішими.

Розумні міста

Li-Fi може відігравати значну роль у розвитку розумних міст, забезпечуючи швидке та надійне підключення до Інтернету через вуличні ліхтарі та світлофори. Це може покращити міську інфраструктуру та покращити якість життя мешканців.

Що стосується проблем та обмежень Li-Fi технології треба відмітити наступне. Вимоги до прямої видимості

Це обмеження є одним із головних обмежень Li-Fi є його залежність від чіткої прямої видимості. Такі перешкоди, як стіни, можуть блокувати світловий сигнал, обмежуючи його радіус дії та ефективність.

Li-Fi наразі ефективний на менших відстанях порівняно з Wi-Fi. Це означає, що він більше підходить для невеликих територій або конкретних випадків використання, а не для широкого покриття.

Перешкоди від навколишнього освітлення

Джерела навколишнього світла, наприклад сонячне та інше штучне освітлення, можуть заважати сигналам Li-Fi. Це вимагає вдосконаленої фільтрації та обробки сигналів для забезпечення надійного зв'язку.

Стосовно майбутніх перспектив Li-Fi то тут треба зауважити наступне.

Інтеграція з IoT - Li-Fi має потенціал для революції в Інтернеті речей (IoT), забезпечуючи швидкий і безпечний зв'язок між пристроями. Це може призвести до створення розумніших будинків і більш ефективних промислових процесів.

Потенціал для 5G і далі

Li-Fi може доповнити існуючі мережі 5G, забезпечуючи додатковий рівень високошвидкісного підключення. Це може допомогти задовольнити зростаючий попит на дані та покращити загальну продуктивність мережі.

Інновації та дослідження

Постійні дослідження та інновації в технології Li-Fi, ймовірно, допоможуть усунути її поточні обмеження та розширити її застосування. Майбутні розробки можуть включати покращений діапазон, кращу інтеграцію з існуючими мережами та нові випадки використання.

У якості висновка зауважимо, що Li-Fi є значним прогресом у технології бездротового зв'язку. Використовуючи спектр видимого світла, він пропонує неперевершену швидкість, безпеку та ефективність. Хоча є труднощі, які потрібно подолати, потенційні переваги роблять Li-Fi перспективним рішенням для майбутнього підключення. Оскільки дослідження тривають і технології розвиваються, незабаром Li-Fi може стати загальною частиною наших будинків, офісів і міст.

ВИСНОВКИ

Запропонована структура захищеної бездротової Li-Fi мережі дозволяє ефективно використати всі переваги та можливості реалізації цієї локальної мережі і забезпечити надійне та захищене інформаційне мережеве середовище з урахуванням економічного використання як освітлення приміщення, так і його інформаційного забезпечення.

Було розглянуто особливості реалізації, пов'язані з використанням Li-Fi-технології. Наведено важливі проблеми як використання цієї технології, так і виклики, що пов'язані з масштабуванням мережі та з сумісною її експлуатацією одночасно з іншими бездротовими середовищами.

Типова структура Li-Fi мережі складається з кількох специфічних вузлів із низьким обмеженням потужності, кожен з яких забезпечує безперебійне функціонування бездротової локальної мережі. Розгортання такої мережі може бути доцільним у межах окремих організацій (наприклад, в навчальних аудиторіях, лабораторіях та читальних залах ВНЗ). Це рішення є енергозберігаючим при вирішенні проблеми освітлення робочих місць користувачів з одночасним забезпеченням їх доступом до локальної мережі закладу чи підрозділу.

Такий сучасний підхід є перспективним і може бути основою при плануванні та реалізації кібернетизації певного закладу чи організації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ruonan Ji, Shaowei Wang, Qing Quan Liu and Wie leu, "High speed visible light communications: Enabling Technologies and State of the Art", *MDPI Applied Sciences*, vol. 8, no. 4598, 2018.
2. IEEE 802.15.4. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANS), 2003.
3. Naresh Subray Hari Kantand N. Sridhar, "Development of Data Transmission Model for Underwater Communication using Li-Fi Technology" in, IEEE, 2020.
4. Sandeep Shukla and Shivendra Singh, "Analysis of Underwater Communication using Visible Light LEDs" in , IEEE, 2020.
5. Комп'ютерні мережі. Навчальний посібник / О. С. Городецька, В. А. Гикавий, О. В. Онищук. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 128 с.
6. Light becomes data [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: <https://purelifi.com/>.
7. Інструмент для проектування бездротових мереж [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.dlink.ru/tools/wi-fi/>.
8. Yoelit Hiebert Li-Fi: An attractive alternative to Wi-Fi // EDN Network, November 14, 2019.
9. О. Зотин. «Умное» освещение. Изложение 4-й главы DOE SSL Program, R&D Plan. 2016 // Полупроводниковая светотехника. 2016. № 5.
10. "Ellipz LiFi medical – real time indoor positioning (RTLS) with LiFi". *medicallifi.io*. Archived from the original on 24 December 2021. Retrieved 24 December 2021.
11. Alam Muhammad, Ferreira Joaquim, FonsecaJos . Visible Light Communication for Cooperative ITS. Ch. 2 // Springer International Publishing. 2016.

12. Myshkin V.F., Balandin S.F., Donchenko V. A., Pogodaev V.A., Khan V. A., Abramova E.S., Kulakov Yu.I., Pavlova M.S., Khazan V.L., Horohorin D.M. Generation of Electric and Magnetic Fields during High-Intensity Laser Radiation Propagation through the Atmosphere // Atmospheric and Oceanic Optics, 2020, V. 33. №. 5. pp. 549-554.
13. H. Diels. Antike Technik. Sechs Vorträge. Leipzig & Berlin, Teubner. 1924.