

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження технології Li-Fi для побудови безпроводової мережі підприємства

Виконав: студент 6 курсу, групи 601ТТ

спеціальності 172 «Електронні

комунікації та радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Удовик С.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Штомпель М.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Гордієнко В.Є.

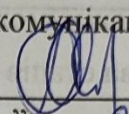
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2025 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
 Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і
 робототехніки
 Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
 Ступінь вищої освіти Магістр
 Спеціальність 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
 автоматики, електроніки та
 телекомунікацій


 О.В. Шефер
 “02” “09” 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Удовику Сергію Сергійовичу

1. Тема проекту (роботи) **«Дослідження технології Li-Fi для побудови безпроводової мережі підприємства»**
 керівник проекту (роботи) **Штомпель Микола Анатольович, доктор технічних наук, професор.**
 затверджена наказом вищого навчального закладу від “09” серпня 2024 року № 818-ф.а.
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 20.12.2024 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Схема приміщення підприємства для проектування мережі. Стандарти IEEE для Li-Fi технології. Моделі світлових передавачів та приймачів для моделювання мережі..
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Теоретичні основи технології Li-Fi. Переваги та недоліки використання технології Li-Fi. Аналіз технічних характеристик Wi-Fi та Li-Fi. Дослідження безпеки передачі даних через Li-Fi. Практичне моделювання мережі на основі Li-Fi для підприємства. Теоретичне тестування мережі за допомогою моделювання. Висновки по роботі.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 - 1) Етапи у виконанні роботи.
 - 2) Вихідні дані.
 - 3) Характеристика обраної антени.

- 4) Місця розташування Led випромінювачів.
- 5) Обрана схема мережі.
- 6) Налаштування Led випромінювачів.
- 7) Тестування системи передачі даних за допомогою аналізатора BER.
- 8) Аналіз результатів тестування.
- 9) Висновки по роботі.

6. Дата видачі завдання 02.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін та обсяг виконання етапів роботи			Примітки (плакати)
		Дата	Квартал	Відсоток	
1	Теоретичні основи технології Li-Fi	01.11.24	I	30%	Пл. 1
2	Порівняння технологій Li-Fi та Wi-Fi	22.11.24		60%	Пл. 3
3	Практичне моделювання мережі на основі Li-Fi	13.12.24	II	90%	Пл. 5
4	Оформлення пояснювальної записки	19.12.24	III	100%	Пл. 6

Магістрант

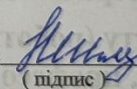


(підпис)

Удовик С.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Штомпель М.А.

(прізвище та ініціали)

Зміст

Вступ.....	5
1. Теоретичні основи технології Li-Fi.....	7
1.1. Загальні відомості про Li-Fi	7
1.2. Архітектура та принципи функціонування Li-Fi.....	14
1.3. Особливості передачі даних через світло	20
1.4. Переваги та недоліки використання Li-Fi.....	23
1.5. Сфери застосування технології Li-Fi.....	32
2. Порівняння технологій Li-Fi та Wi-Fi	36
2.1. Технічні характеристики Wi-Fi та Li-Fi	36
2.2. Швидкість передачі даних та пропускна здатність	39
2.3. Безпека передачі даних	43
2.4. Можливості та обмеження в різних середовищах.....	49
2.5. Висновки.....	53
3. Моделювання мережі на основі Li-Fi.....	54
3.1. Загальні відомості про підприємство та завдання майбутньої мережі.....	54
3.2. Проектування мережі Li-Fi для приміщення підприємства.....	56
3.3. Підключення та налаштування мережі	66
3.4. Тестування мережі.....	69
3.5. Аналіз результатів тестування	73
Висновки.....	75
Список використаних джерел.....	76

Вступ

Сучасні інформаційні технології швидко розвиваються, зокрема в сфері бездротових комунікацій, що забезпечують доступ до даних у будь-якому місці та в будь-який час. Традиційні технології, такі як Wi-Fi, мають певні обмеження, зокрема, пов'язані з радіочастотними перешкодами, низькою швидкістю передачі даних і питаннями безпеки. У цьому контексті технологія Li-Fi (Light Fidelity), яка дозволяє передавати дані через світло, з'являється як перспективна альтернатива. Li-Fi використовує світлові хвилі для передавання інформації, що відкриває нові можливості для забезпечення високошвидкісних і безпечних мереж.

Актуальність дослідження полягає в тому, що існуючі бездротові технології, зокрема Wi-Fi, мають обмеження у швидкості, безпеці і радіочастотних перешкодах. Технологія Li-Fi, у свою чергу, дозволяє значно підвищити швидкість передачі даних і знизити радіочастотні перешкоди. Завдяки цьому Li-Fi стає важливим рішенням для використання в корпоративних мережах, де важливими факторами є висока швидкість, безпека та енергоефективність. Тому вивчення можливостей Li-Fi є актуальним і перспективним напрямом досліджень у сфері інформаційних технологій.

Мета дослідження полягає в тому, щоб дослідити технологію Li-Fi, її принципи роботи, архітектуру і можливості використання в якості основи для побудови бездротової мережі на підприємствах. Також метою роботи є створення моделі такої мережі і оцінка її ефективності.

Завдання дослідження:

1. Дослідити основні принципи роботи та архітектуру технології Li-Fi.
2. Здійснити порівняння Li-Fi з традиційними технологіями бездротового зв'язку, зокрема Wi-Fi.
3. Змоделювати мережу на основі Li-Fi для підприємства та оцінити її ефективність.
4. Провести аналіз переваг і недоліків цієї технології.

Об'єктом дослідження є технологія Li-Fi, її компоненти, принципи функціонування і архітектура, а також її можливості для впровадження в різних сферах.

Предметом дослідження є особливості передачі даних через світло, технічні характеристики і переваги Li-Fi в порівнянні з іншими технологіями.

Методи дослідження включають аналіз літературних джерел, порівняння технологій, а також моделювання мережі для оцінки її ефективності. Окрім того, аналіз швидкості передачі даних і зони покриття. Це дозволить оцінити потенціал Li-Fi і можливі його проблеми при впровадженні в реальні умови.

Вивчення можливостей Li-Fi для підприємств також дозволить зробити висновки щодо його перспектив у різних галузях економіки, таких як виробництво, фінансовий сектор, охорона здоров'я та інші. Таким чином, дослідження технології Li-Fi є важливим для розуміння її потенціалу і перспектив, а також для вирішення практичних завдань, пов'язаних з впровадженням безпроводових мереж у сучасних підприємствах і організаціях.

1. Теоретичні основи технології Li-Fi

1.1. Загальні відомості про Li-Fi

Технологія Li-Fi (Light Fidelity) є інноваційною формою бездротового зв'язку, яка використовує світлові хвилі для передачі даних. Ця технологія базується на використанні видимого світла (а також інфрачервоних і ультрафіолетових спектрів) і пропонує нові перспективи у вирішенні проблем із перевантаженням традиційних бездротових мереж, які працюють на радіочастотних спектрах. Основна ідея полягає у використанні світлодіодів (LED) як передавачів інформації, що передають дані за допомогою модуляції інтенсивності світла.

Історія розвитку Li-Fi

Історія розвитку технології Li-Fi бере свій початок у середині 2000-х років, коли вчені і дослідники почали шукати нові шляхи для покращення ефективності та безпеки бездротових мереж. Основною метою було вирішення проблем, пов'язаних із радіочастотними обмеженнями та зростаючим попитом на швидкісні бездротові з'єднання. У цьому контексті Li-Fi почав зароджуватися як інноваційна альтернатива традиційним радіочастотним технологіям, таким як Wi-Fi.

Попередниками технології Li-Fi можна вважати дослідження у сфері оптичних комунікацій, які розпочалися ще в середині XX століття. Проте лише з розвитком LED технологій стало можливим практичне впровадження концепцій передачі даних за допомогою світла. Світлодіоди виявилися ідеальними кандидатами для створення високошвидкісних систем передачі даних завдяки їх здатності швидко змінювати інтенсивність світла.

Вперше концепція використання видимого світла для передачі даних була запропонована професором Гарольдом Хаусом (Harald Haas) з Університету Единбурга у 2011 році. Саме тоді він представив свою роботу на конференції TED Global, де продемонстрував першу версію технології Li-Fi, що дозволяла передавати дані за допомогою світлових хвиль. Хаас, вважається "батьком" Li-Fi, оскільки його дослідження і відкриття сприяли значному розвитку технології. На

своїй презентації він показав, як можна використовувати звичайні LED-лампи для передачі даних, що радикально змінювало уявлення про бездротові мережі і пропонувало перспективи, які тоді здавалися фантастичними.

Це відкриття мало революційний характер, адже раніше всі спроби передати дані бездротовим способом здійснювалися за допомогою радіочастот, які мають обмежену пропускну здатність і часто створюють перешкоди. Світлові хвилі ж, навпаки, мають набагато більший спектр і можливість передавати набагато більше інформації.

Після презентації професора Хааса, Li-Fi почав привертати увагу технічних спільнот, наукових кіл і навіть бізнесу. Відповідно, розпочалася активна робота над удосконаленням технології. Вже в 2012 році було створено компанію "PureLiFi", засновану професором Хаасом, яка мала на меті комерціалізацію технології і її впровадження в реальні продукти. З цього моменту технологія Li-Fi почала розвиватися в кількох напрямках: від наукових досліджень і експериментальних моделей до реальних комерційних рішень.

Однією з основних проблем на початкових етапах розвитку була необхідність забезпечення стабільного сигналу в умовах змінного освітлення. Вчені почали розробляти нові методи модуляції світлових хвиль, щоб підвищити ефективність та надійність передачі даних. Поступово почали з'являтися перші експериментальні моделі пристроїв, які використовували LED-світильники для передачі інформації.

У 2013 році відбулася перша демонстрація реальної роботи Li-Fi у лабораторії, де передача даних була досягнута на швидкості 10 Мбіт/с. Це був перший крок до використання технології в комерційних цілях. У наступні роки дослідження і випробування продовжувалися, і розробники з різних країн почали вдосконалювати технічні характеристики систем Li-Fi, що дозволило збільшити швидкість передачі даних до десятків і навіть сотень мегабіт на секунду.

На початку досліджень у цій галузі основний акцент робився на розробку лабораторних прототипів і випробування теоретичних моделей. У 2013-2015 роках вчені досягли значних успіхів у розвитку технології, зокрема у досягненні

швидкостей передачі даних понад 200 Гбіт/с в лабораторних умовах. Однак ці результати були отримані в умовах ідеального середовища, і на практиці така швидкість поки що не може бути досягнута в реальних умовах.

Технологія Li-Fi активно розвивається завдяки участі науково-дослідних інститутів і приватних компаній, які бачать у ній великий комерційний потенціал. Наприклад, компанія *pureLiFi*, яка була заснована професором Хаасом, працює над розвитком комерційних рішень для впровадження цієї технології в реальні мережі.

Випробування та впровадження технології Li-Fi

Випробування та впровадження технології Li-Fi є важливими етапами, які визначають її ефективність, надійність і перспективність для широкого використання. Ці випробування охоплюють різні галузі, включаючи охорону здоров'я, транспорт, промисловість, офісні простори та освітні установи, що дає змогу оцінити можливості технології в реальних умовах і виявити її сильні та слабкі сторони. Основна мета випробувань полягає в перевірці швидкості передачі даних, стабільності зв'язку, сумісності з наявними інфраструктурами і рівня безпеки.

Першими осередками для тестування Li-Fi стали офіси, де важливо забезпечити стабільний зв'язок і високу швидкість передачі даних у середовищі, що вимагає швидкого обміну інформацією. Результати випробувань підтвердили, що ця технологія може бути ефективним рішенням для закритих приміщень, оскільки забезпечує високий рівень безпеки завдяки неможливості перехоплення сигналу за межами фізичної зони дії. В офісах Li-Fi допомагає покращити продуктивність завдяки швидшій передачі даних порівняно з традиційним Wi-Fi, що робить його привабливим для компаній, які працюють із конфіденційною інформацією.

У медичних установах впровадження Li-Fi відкрило нові можливості для безпечної передачі даних, особливо в операційних і чутливих зонах, де радіочастотні сигнали можуть впливати на роботу медичних приладів. Оскільки Li-Fi не створює радіочастотних перешкод, він стає ідеальним рішенням для

лікарень, де потрібна висока швидкість передачі даних без ризику порушення функціонування обладнання. Випробування показали, що технологія чудово інтегрується в медичне середовище, забезпечуючи стабільний і безпечний зв'язок, що особливо важливо для передачі пацієнтських даних у реальному часі.

У транспортній інфраструктурі Li-Fi також знаходить своє застосування. Літаки, потяги та автомобілі — це приклади середовищ, де використання радіохвиль може бути обмеженим або небезпечним. Li-Fi, працюючи на основі видимого світла, не створює завад для навігаційних систем і приладів керування, що робить його важливим елементом для забезпечення бездротового зв'язку на транспорті. В аеропортах та інших транспортних вузлах також випробовують можливості технології для організації зв'язку з пасажирями, що дозволяє уникнути радіочастотних обмежень та підвищити загальну ефективність обслуговування.

Виробничі приміщення — ще одна важлива сфера, де технологія Li-Fi може продемонструвати свої переваги. Умови виробництва часто характеризуються високим рівнем радіочастотних перешкод, що створює проблеми для традиційних бездротових технологій. У таких середовищах Li-Fi здатний забезпечити безперебійний зв'язок, використовуючи видиме світло, яке не піддається впливу електромагнітних перешкод. Це дозволяє організувати стабільну передачу даних між машинами і роботизованими системами на заводах, що працюють у автоматизованих режимах.

Окрему увагу варто приділити випробуванням Li-Fi в освітніх закладах та наукових лабораторіях. Університети та дослідницькі центри активно вивчають можливості цієї технології, впроваджуючи її для підвищення якості навчання та досліджень. Технологію використовують для забезпечення швидкого доступу до навчальних матеріалів і мережевих ресурсів. Водночас лабораторні експерименти дозволили краще зрозуміти, як Li-Fi може функціонувати в складних умовах і сумісно працювати з іншими системами зв'язку, такими як Ethernet або 5G.

З огляду на успішні результати випробувань, впровадження Li-Fi у бізнес і промисловість починає активно набирати обертів. Бізнес-середовище все більше звертається до цієї технології для забезпечення безпечного і швидкого зв'язку в офісних приміщеннях, де питання захисту інформації є пріоритетом. Впровадження Li-Fi в умовах виробництва також стало перспективним рішенням для підвищення ефективності процесів. Окрім того, Li-Fi активно використовується в інтелектуальних транспортних системах, де висока надійність і швидкість передачі даних сприяють розвитку "розумних" міст.

Однак, незважаючи на значний потенціал технології, її впровадження стикається з кількома викликами. Одним із головних є необхідність інтеграції Li-Fi з існуючими інфраструктурами. Світлові хвилі не можуть проходити крізь стіни, що обмежує їх радіус дії і вимагає встановлення додаткових джерел світла для покриття великих просторів. Це також ставить питання енергоспоживання, оскільки світлодіоди повинні бути постійно увімкненими для забезпечення стабільного зв'язку. Ще однією проблемою є зовнішні перешкоди, такі як сонячне світло або інші джерела освітлення, які можуть знижувати якість сигналу. Незважаючи на ці перешкоди, сучасні технологічні рішення, зокрема енергоефективні світлодіоди, допомагають мінімізувати проблеми енергоспоживання.

Попри всі виклики, перспективи впровадження Li-Fi залишаються надзвичайно обнадійливими. Подальші дослідження в цій галузі, а також вдосконалення апаратних рішень і програмного забезпечення дозволять технології зайняти гідне місце в майбутній інфраструктурі бездротового зв'язку, де вона зможе конкурувати з традиційними методами передачі даних і пропонувати інноваційні рішення для сучасних викликів.

Перспективи та майбутнє технології Li-Fi

Перспективи та майбутнє технології Li-Fi відкривають широкі можливості для бездротового зв'язку в різних галузях, обіцяючи значні покращення в порівнянні з традиційними методами передачі даних, такими як Wi-Fi. Технологія, що використовує видиме світло для передачі інформації, може стати

ключовим елементом у розвитку нових стандартів бездротових мереж, пропонуючи швидкі, безпечні та енергоефективні рішення. Основні напрямки, де можна очікувати значного прогресу та поширення Li-Fi, включають сфери комунікацій, транспорту, медицини, промисловості, а також житлового сектору.

Однією з головних переваг Li-Fi є значно більша пропускна здатність у порівнянні з радіочастотними технологіями. Світловий спектр, на якому працює Li-Fi, набагато ширший, що дозволяє забезпечити передачу великих обсягів даних зі швидкістю, яка суттєво перевищує можливості Wi-Fi. Це робить технологію привабливою для впровадження в тих сферах, де критично важлива швидкість обміну інформацією, зокрема у високотехнологічних галузях, таких як штучний інтелект, хмарні обчислення і обробка великих даних. В майбутньому, коли вимоги до передачі даних будуть продовжувати зростати, Li-Fi може стати одним із основних методів для забезпечення стабільного та швидкого зв'язку.

Ще одним важливим аспектом майбутнього розвитку технології є її безпека. На відміну від Wi-Fi, який може бути вразливим до зовнішнього перехоплення через те, що радіосигнал поширюється за межі приміщень, Li-Fi має обмежену зону дії, обмежену стінами та іншими фізичними бар'єрами. Це робить технологію надзвичайно привабливою для тих середовищ, де інформаційна безпека є критичною, наприклад, у фінансових установах, військових об'єктах або компаніях, що працюють з конфіденційними даними. З розвитком кіберзагроз і підвищенням вимог до захисту інформації, Li-Fi може запропонувати більш надійний і захищений зв'язок.

У транспортній галузі перспективи Li-Fi також надзвичайно багатообіцяючі. Системи зв'язку на основі світла можуть використовуватися в автомобілях, літаках і поїздах для забезпечення безпечного і швидкого з'єднання між пристроями та користувачами. Відомо, що радіочастотні сигнали можуть створювати перешкоди в роботі навігаційних систем, тому перехід до систем зв'язку на основі видимого світла допоможе уникнути подібних проблем. У літаках Li-Fi можна використовувати для надання пасажирам високошвидкісного доступу до Інтернету під час польотів, що сьогодні обмежується низькою

швидкістю або високою вартістю традиційного супутникового зв'язку. В автомобілях технологія може забезпечити швидкий обмін даними між транспортними засобами і дорожньою інфраструктурою, що стане важливим елементом для розвитку безпілотного транспорту і "розумних" міст.

Медицина — ще одна важлива галузь, де впровадження Li-Fi має великі перспективи. Сучасні медичні заклади використовують численні електронні пристрої, і багато з них можуть бути чутливими до радіочастотних завад, які виникають через використання Wi-Fi. Використання Li-Fi в лікарнях і медичних центрах дозволить усунути ці проблеми, забезпечуючи стабільний зв'язок, який не впливає на роботу критично важливих медичних приладів. Крім того, бездротова передача даних за допомогою світла може бути застосована для внутрішньої лікарняної комунікації, забезпечення швидкої передачі пацієнтських даних і обміну інформацією в реальному часі, що підвищить ефективність надання медичних послуг.

У промисловості Li-Fi також відкриває нові можливості. Заводи і виробничі підприємства, які використовують автоматизовані системи управління та робототехніку, можуть стикатися з проблемами через наявність великої кількості радіочастотних сигналів, що створюють перешкоди. Впровадження Li-Fi дозволить організувати безперешкодний обмін інформацією між машинами та інтелектуальними системами управління виробничими процесами. Це особливо актуально для умов, де радіочастотні сигнали можуть створювати небезпеку або бути недоступними через особливості середовища. Таким чином, Li-Fi стане важливим інструментом для розвитку промислової автоматизації та підвищення ефективності виробництва.

У контексті розвитку "розумних" міст, де технологічні інновації мають забезпечити підвищення якості життя, Li-Fi пропонує нові підходи до управління інфраструктурою. Використання світла для передачі даних може бути інтегровано в системи освітлення вулиць, будівель та транспортних засобів, забезпечуючи швидкий і надійний зв'язок між різними елементами міської інфраструктури. Завдяки цьому мешканці "розумних" міст отримають доступ до

високошвидкісного Інтернету, а муніципальні служби зможуть ефективніше керувати міським середовищем, оптимізуючи енергоспоживання і знижуючи витрати на утримання інфраструктури.

Щодо комерційного використання Li-Fi, можна очікувати, що технологія поступово буде інтегруватися в офісні середовища, торгові центри та житлові будинки. Оскільки світлові діоди (LED), які використовуються для роботи Li-Fi, є енергоефективними і широко розповсюдженими, їх використання дозволить мінімізувати витрати на обладнання для зв'язку. Більше того, інтеграція цієї технології в існуючу інфраструктуру освітлення не потребуватиме значних змін, що зробить її привабливою для широкого впровадження у повсякденне життя.

Хоча впровадження Li-Fi ще потребує значної кількості досліджень і розробок, перспективи її розвитку є надзвичайно обнадійливими. Подальші удосконалення технологій оптичної передачі даних, а також розвиток апаратних рішень сприятимуть підвищенню ефективності та зниженню вартості впровадження Li-Fi. Крім того, зростаючий попит на швидкий і безпечний зв'язок у різних галузях стимулюватиме розвиток нових додатків і рішень, які можуть використовувати переваги передачі даних через видиме світло.

У майбутньому Li-Fi може стати однією з ключових технологій для бездротового зв'язку, пропонуючи високу швидкість передачі даних, безпеку і енергоефективність. Вона має потенціал стати важливим елементом для побудови мережевої інфраструктури в різних секторах, від побутових приміщень до глобальних індустрій. З подальшим розвитком цієї технології можна очікувати, що вона стане одним із основних методів бездротового зв'язку в сучасному світі.

1.2. Архітектура та принципи функціонування Li-Fi.

Архітектура Li-Fi

Архітектура Li-Fi складається з кількох ключових компонентів, які працюють разом для забезпечення передачі даних через світлові хвилі. На відміну від традиційної бездротової технології Wi-Fi, яка використовує радіочастоти для передачі сигналу, Li-Fi базується на передачі даних через

видиме світло (Visible Light Communication, VLC). Це означає, що архітектура Li-Fi орієнтована на використання освітлювальних пристроїв, зокрема світлодіодів (LED), як основних елементів мережі.

Основні компоненти архітектури Li-Fi

1. **Джерело світла (світлодіоди).** Основним елементом в архітектурі Li-Fi є світлодіодні лампи, які одночасно виконують функцію освітлення і передачі даних. Світлодіоди здатні миттєво змінювати інтенсивність світла з великою швидкістю, що дозволяє використовувати їх для передачі інформації у вигляді бінарних сигналів. Хоча людське око не помічає цих змін, приймачі можуть «зчитувати» їх і декодувати інформацію.
2. **Модулятор.** Модулятор є важливим компонентом, який забезпечує зміну світлового потоку для передачі інформації. Цей пристрій контролює частоту і інтенсивність світла, відповідно до даних, які потрібно передати. Модуляція сигналу може здійснюватися за допомогою різних методів, таких як ООК (On-Off Keying) або PWM (модуляція ширини імпульсу), що дозволяє значно підвищити швидкість передачі даних.
3. **Приймач сигналу (фотодіод або камера).** У Li-Fi архітектурі для прийому даних використовуються спеціальні фотодіоди або сенсори, які здатні фіксувати зміни у світловому потоці та перетворювати їх у цифровий сигнал. Фотодіоди перетворюють отримане світло в електричні сигнали, які можуть бути оброблені і перетворені у передану інформацію. Приймачі розташовуються на пристроях користувачів, наприклад, на смартфонах або комп'ютерах, або інтегровані у приміщенні для збору інформації.
4. **Контролери та чіпсети.** Архітектура Li-Fi також включає в себе спеціалізовані контролери або чіпсети, що відповідають за обробку інформації. Вони відіграють ключову роль у процесі модуляції та демодуляції світлового сигналу. Наприклад, контролер передає дані на світлодіод і змінює частоту світлових імпульсів, а чіпсет на боці приймача обробляє інформацію, зчитану фотодіодом.

5. **Середовище передачі.** На відміну від Wi-Fi, який використовує електромагнітні хвилі для передачі через повітря, Li-Fi передає дані через світлові хвилі. Це означає, що ефективність мережі залежить від безперешкодного шляху між джерелом світла і приймачем. Важливо, що світлові хвилі не можуть проникати через тверді об'єкти, такі як стіни, тому мережа обмежена певним приміщенням або областю, що також підвищує її безпеку.
6. **Зворотній канал.** У деяких реалізаціях архітектури Li-Fi передбачено зворотній канал, який забезпечує передачу даних від приймача до передавача. Зворотній канал може використовувати інфрачервоні світлодіоди або інші технології для забезпечення двостороннього зв'язку. Це особливо важливо для інтеграції Li-Fi з іншими мережами або пристроями, оскільки користувачам часто потрібно не лише отримувати дані, але й передавати їх назад.

Взаємодія між компонентами

Взаємодія між компонентами в системі Li-Fi є надзвичайно важливим елементом, що забезпечує її ефективність і функціональність. У цій технології кожен компонент працює узгоджено, створюючи стабільну і надійну мережу передачі даних через світлові хвилі.

На першому етапі процесу джерело світла, зазвичай у вигляді світлодіодних ламп, генерує світловий потік, який одночасно служить як для освітлення простору, так і для передачі інформації. Ці світлодіоди можуть дуже швидко змінювати інтенсивність світла, перетворюючи його в послідовність бінарних сигналів. Хоча ці зміни невидимі для людського ока, приймачі Li-Fi здатні "схоплювати" їх та розпізнавати як інформацію.

Модулятор, встановлений у системі, відповідає за перетворення даних у світлові сигнали. Він управляє процесом зміни світлових імпульсів у відповідності до переданої інформації. Ці імпульси несуть дані, які потім сприймаються приймачем. Модуляція світла відбувається через різні техніки,

такі як метод ООК (включення/вимкнення) або модуляція ширини імпульсу, що дозволяє зберігати високу швидкість передачі без шкоди для якості сигналу.

Приймач, який зазвичай представлений фотодіодом або сенсором, відповідає за виявлення змін у світлових хвилях, перетворюючи їх у електричний сигнал. Цей процес аналогічний тому, як звичайний Wi-Fi-приймач перетворює радіосигнали в цифрові дані. Приймач у системі Li-Fi функціонує за принципом уловлювання навіть найменших змін світлового потоку, перетворюючи їх у доступну для інтерпретації інформацію.

Далі, контролери і чіпсети відіграють важливу роль в інтеграції процесу модуляції та демодуляції. Вони обробляють і передають дані між джерелом світла і приймачем, здійснюючи їх кодування та декодування. Наприклад, контролери передають бінарні дані на світлодіод, що змушує його змінювати інтенсивність світла відповідно до інформації, яку потрібно передати. Водночас приймач на іншому кінці отримує ці дані та декодує їх для подальшої обробки.

Окрім цього, взаємодія між компонентами вимагає безперешкодного шляху між джерелом світла і приймачем. Оскільки світлові хвилі не можуть проходити через тверді об'єкти, такі як стіни, важливо, щоб лінія видимості між передавачем і приймачем залишалася незаблокованою. Це створює деякі обмеження для технології Li-Fi, але водночас підвищує її безпеку, оскільки передача даних обмежена простором освітлення.

Важливим аспектом взаємодії є координація між кількома джерелами світла. У випадку з багатоканальними мережами, де кожен світлодіодний пристрій виконує функцію окремого передавача, необхідно, щоб кожна лампа працювала синхронно з іншими. Це дозволяє створювати мережу з високою пропускнуою здатністю, де користувачі можуть отримувати сигнал від декількох джерел одночасно, що забезпечує безперервний доступ до даних. Мережа таким чином стає більш адаптивною до навантажень і здатною підтримувати високі швидкості передачі інформації.

Отже, взаємодія між компонентами в системі Li-Fi забезпечується тісною координацією між світлодіодами, модуляторами, приймачами та контролерами.

Ця синхронність є ключовою для надання надійної, швидкої і безпечної передачі даних. Завдяки своїй здатності ефективно використовувати видимий світловий спектр, система Li-Fi пропонує перспективні можливості для заміни або доповнення традиційних бездротових технологій, зокрема в умовах, де радіочастотні сигнали менш ефективні або небажані.

Архітектура Li-Fi має численні переваги, які роблять її інноваційним і перспективним рішенням для бездротової передачі даних. Оскільки Li-Fi використовує світлові хвилі замість радіочастот, вона має унікальні характеристики, що надають низку переваг у різних аспектах використання.

Принципи функціонування Li-Fi.

Технологія Li-Fi працює за принципом використання світлових хвиль для передачі даних, що відрізняє її від традиційних бездротових технологій, таких як Wi-Fi, які використовують радіочастотні сигнали. Основна ідея полягає у передачі інформації через модуляцію світлових сигналів, які генеруються світлодіодними (LED) лампами. Це робить Li-Fi інноваційною технологією з численними перевагами, але водночас із певними особливостями в реалізації.

У технології Li-Fi використовуються світлодіодні лампи для освітлення приміщень і одночасної передачі даних. Світлодіоди можуть дуже швидко змінювати інтенсивність світла, тобто швидко вмикатися і вимикатися, що робить їх здатними передавати цифрові дані. Ці зміни відбуваються настільки швидко, що людське око не помічає жодної різниці в освітленні, але фотодіодний приймач здатен фіксувати ці зміни як інформаційний сигнал. Для передачі даних використовуються різні методи модуляції, такі як зміна стану світла між включеним і вимкненим, а також одночасне використання кількох світлодіодних джерел для збільшення пропускної здатності системи. Це дозволяє передавати дані з високою швидкістю, не впливаючи на освітлення приміщення.

Модуляція і демодуляція світлового сигналу є ключовими процесами в роботі Li-Fi. Джерело світла модулюється за допомогою спеціальних модуляторів, які перетворюють електронні дані в оптичні сигнали. Модулятор керує інтенсивністю світла, перетворюючи бінарні дані в світлові імпульси. На

приймачі, зазвичай це фотодіод, світлові імпульси перетворюються назад в електричні сигнали, які потім декодуються і перетворюються в інформацію, зрозумілу комп'ютерам чи іншим пристроям. Фотодіод здатен фіксувати найменші зміни в інтенсивності світла, навіть якщо ці зміни відбуваються на високих швидкостях, що забезпечує точність прийому сигналу.

Світлові хвилі, на відміну від радіохвиль, не здатні проходити через стіни або тверді об'єкти, що означає, що для передачі даних між передавачем і приймачем потрібна пряма видимість. Це обмеження робить необхідним розташування пристроїв у межах зони дії світлового сигналу, і якщо шлях сигналу перерваний, то зв'язок буде втрачено. Однак, завдяки відбиттю світла від поверхонь, таких як стіни та стелі, певний рівень сигналу може бути збережений навіть у зонах непрямой видимості, хоча потужність сигналу зменшується. Це особливість, яка робить технологію Li-Fi більш обмеженою порівняно з радіочастотними мережами, але водночас забезпечує більш високий рівень безпеки, оскільки світловий сигнал не може бути перехоплений за межами приміщення.

Технологія Li-Fi підтримує дуплексний режим роботи, що означає можливість одночасної передачі і прийому даних. Для цього можуть використовуватися різні довжини хвиль світла для забезпечення двосторонньої передачі: одна довжина хвилі використовується для передачі даних від передавача до приймача, а інша – для зворотного напрямку. Це дозволяє зберігати високу швидкість обміну даними без втрати продуктивності мережі.

Оскільки Li-Fi використовує світлові хвилі замість радіохвиль, вона не зазнає радіочастотних перешкод. Це робить технологію особливо корисною в місцях, де використання радіочастот є небажаним або обмеженим, наприклад, у лікарнях, на літаках або в підводних середовищах. Там, де радіохвилі можуть заважати роботі обладнання або мати обмеження щодо застосування, Li-Fi надає безпечну та стабільну альтернативу.

Окрім цього, інтенсивність світла в системах Li-Fi може бути налаштована таким чином, щоб забезпечити ефективне використання енергоресурсів.

Наприклад, у приміщеннях із достатнім природним освітленням можна знизити яскравість світлодіодів до мінімально необхідного рівня для підтримки передачі даних, що дозволяє знизити енергоспоживання.

1.3. Особливості передачі даних через світло

Передача даних через світло, яка є основою технології Li-Fi, має унікальні особливості, що роблять її відмінною від інших методів бездротової комунікації. Ця технологія базується на використанні світлодіодів (LED) як передавачів інформації та фотодіодів як приймачів, а основним механізмом передачі даних є зміна інтенсивності світлового випромінювання. На відміну від радіохвиль, що використовуються в Wi-Fi, Li-Fi використовує видимий спектр світла для комунікації, що відкриває нові можливості і водночас вимагає врахування певних технічних та фізичних аспектів.

Перша важлива особливість полягає у використанні видимого світла, яке не тільки служить для передачі інформації, але й виконує свою основну функцію – освітлення. Світлодіоди, які використовуються у системах Li-Fi, здатні швидко змінювати інтенсивність світла без видимого для людського ока впливу на якість освітлення. Ці зміни, відомі як модуляція, можуть кодувати цифрові сигнали, де кожне вмикання і вимикання світла відповідає бітам інформації. Світло є універсальним середовищем передачі, яке використовується у повсякденному житті, тому інтеграція комунікаційної функції у вже наявні світлодіодні лампи робить Li-Fi не лише корисною, але й енергоефективною технологією.

Однією з ключових переваг передачі даних через світло є те, що світлові хвилі не зазнають перешкод від електромагнітних полів або радіочастотних завад. Це означає, що Li-Fi може використовуватися у середовищах, де існують обмеження на використання радіочастот, таких як лікарні, літаки або військові об'єкти. Зважаючи на те, що багато пристроїв у таких умовах працюють на основі радіосигналів, які можуть створювати взаємні перешкоди, Li-Fi пропонує безпечний і стабільний канал зв'язку. Крім того, завдяки відсутності радіочастотної інтерференції, технологія Li-Fi може бути інтегрована в

обмежених просторах, де звичайні бездротові мережі стикаються з труднощами через перенасиченість радіохвиль.

Проте передача даних через світло має і певні обмеження. Оскільки світлові хвилі не здатні проникати через тверді об'єкти, такі як стіни або двері, для передачі інформації потрібна пряма лінія видимості між передавачем і приймачем. Ця особливість має значний вплив на планування мереж на основі Li-Fi. Відсутність здатності проникати через стіни обмежує дальність дії мережі, але водночас забезпечує додатковий рівень безпеки. Дані не можуть бути перехоплені за межами зони видимості світлового сигналу, що знижує ризик кіберзагроз і несанкціонованого доступу до мережі.

Ще однією важливою особливістю є висока щільність передачі даних. Світлові хвилі мають коротші довжини хвиль у порівнянні з радіохвилями, що дозволяє створювати значно більше каналів передачі на одиницю площі. Це підвищує пропускну здатність мережі і дозволяє обслуговувати більше пристроїв в обмеженому просторі без втрати швидкості або якості зв'язку. Технологія Li-Fi вже сьогодні демонструє потенціал для досягнення швидкостей передачі даних у кілька гігабіт на секунду, що робить її конкурентоспроможною порівняно з Wi-Fi та іншими бездротовими мережами.

Незважаючи на те, що Li-Fi використовує видимий спектр світла, технологія може працювати і в інших діапазонах електромагнітного спектру, включаючи ультрафіолетове та інфрачервоне світло. Це дозволяє розширити можливості для передачі даних в різних умовах. Наприклад, інфрачервоне світло може бути використане для передачі сигналів в темних приміщеннях, де відсутня необхідність в освітленні. Це відкриває можливості для створення багатофункціональних систем комунікації, що адаптуються до потреб конкретного середовища.

З іншого боку, важливим аспектом є енергоспоживання. Світлодіоди відомі своєю енергоефективністю, тому використання Li-Fi не призведе до значного збільшення енергоспоживання в будівлях або інфраструктурі. Ба більше, світлодіоди, які працюють для передачі даних, можуть регулювати свою

яскравість залежно від потреб освітлення, що дозволяє знижувати витрати електроенергії, коли освітлення не є пріоритетним завданням.

Однак важливо також зазначити, що ефективність передачі даних через світло може знижуватися в умовах, де присутнє надмірне природне або штучне освітлення. Сонячне світло, наприклад, може створювати перешкоди для систем Li-Fi через високий рівень інтенсивності та багатоспектральний характер. У таких випадках необхідно застосовувати спеціальні фільтри або алгоритми компенсації для зменшення впливу зовнішніх джерел світла на передачу даних. Незважаючи на ці виклики, інженери працюють над вирішенням цих проблем, використовуючи вдосконалені методи модуляції і демодуляції сигналу, які можуть забезпечити стабільну передачу навіть у складних умовах.

Особливості передачі даних через світло також включають питання безпеки та конфіденційності. Оскільки Li-Fi використовує світло, яке легко блокується фізичними об'єктами, мережа на основі цієї технології є значно більш захищеною від перехоплення злоумисниками, ніж традиційні радіочастотні мережі. Це робить Li-Fi привабливим варіантом для використання у середовищах, де конфіденційність даних має критичне значення, наприклад, у державних установах, банківських системах або корпоративних офісах.

Взаємодія між різними компонентами системи Li-Fi, такими як передавачі (світлодіоди) і приймачі (фотодіоди), також впливає на особливості передачі даних. Передача інформації відбувається через постійну модуляцію світла, що вимагає точного налаштування обладнання. Сучасні системи Li-Fi можуть використовувати багато передавачів і приймачів для створення мультिकанальних систем передачі даних, що дозволяє значно підвищити пропускну здатність і надійність мережі.

Таким чином, особливості передачі даних через світло в технології Li-Fi створюють нові можливості для бездротових мереж, забезпечуючи високу швидкість, безпеку та енергоефективність. Водночас технологія має певні обмеження, пов'язані з необхідністю прямої видимості та впливом зовнішнього освітлення, які потрібно враховувати при її впровадженні в реальних умовах.

1.4. Переваги та недоліки використання Li-Fi.

Переваги використання.

Висока швидкість передачі даних.

Висока швидкість передачі даних є однією з ключових переваг технології Li-Fi, що ставить її на крок попереду інших бездротових технологій, таких як Wi-Fi. Використання видимого спектра світла дозволяє досягати значно вищих швидкостей, ніж ті, що можливі з традиційними радіочастотними системами. Це можливо завдяки тому, що світловий спектр є набагато ширшим і менш зайнятим порівняно з обмеженим радіочастотним спектром.

Li-Fi використовує світлодіоди (LED) для передачі інформації. Світло від таких діодів може змінювати інтенсивність на дуже високих частотах, що дозволяє кодувати великі обсяги даних. Це не тільки збільшує пропускну здатність каналу, але й робить передачу даних швидшою та ефективнішою. Оскільки світлові хвилі не мають такого ж рівня інтерференцій, як радіохвилі, Li-Fi може працювати на вищих швидкостях без суттєвих втрат продуктивності через перешкоди.

Швидкість передачі даних у Li-Fi може досягати 224 гігабіт на секунду в лабораторних умовах, що в рази перевищує можливості Wi-Fi. Для порівняння, сучасні Wi-Fi мережі (особливо на стандарті Wi-Fi 6) можуть забезпечити швидкість у межах від 1 до 9,6 Гбіт/с. У реальних умовах ці швидкості значно нижчі через обмеження ширини каналу, інтерференції з іншими пристроями та об'єкти, що блокують сигнал. Li-Fi, у свою чергу, значно краще виконує свою функцію у випадках, де потрібно забезпечити максимальну продуктивність у межах локального середовища, наприклад, у приміщеннях або закритих просторах.

Завдяки високій швидкості передачі даних, Li-Fi може ефективно використовуватися для підтримки складних додатків та процесів, які вимагають миттєвого доступу до великих обсягів інформації. До таких прикладів можна віднести стримінг відео високої роздільної здатності (4K, 8K), передачу даних у реальному часі для застосунків віртуальної і доповненої реальності (VR/AR), а

також обробку великих баз даних або великих наборів даних, які використовуються в галузі штучного інтелекту або наукових досліджень.

Ще однією перевагою є те, що Li-Fi дозволяє ефективно обслуговувати велике навантаження від великої кількості підключених пристроїв. У переповнених середовищах, таких як конференції, стадіони або великі офіси, де одночасно підключені сотні або тисячі користувачів, Wi-Fi мережі можуть стикатися з проблемами перевантаження каналів, що знижує загальну пропускну здатність. Оскільки Li-Fi використовує світловий спектр, йому вдається уникнути цих проблем і підтримувати високі швидкості передачі даних навіть у випадках, коли до мережі підключено велику кількість користувачів. Кожен пристрій, який знаходиться в зоні покриття конкретного джерела світла, може отримувати доступ до окремого каналу зв'язку, що мінімізує затримки та втрати сигналу.

Li-Fi також може забезпечити високі швидкості передачі даних у середовищах, де традиційні радіочастотні технології є неефективними або небажаними. Наприклад, у підводних комунікаціях, де радіохвилі не можуть поширюватися, або в умовах високого радіочастотного забруднення, Li-Fi пропонує надійне рішення для швидкої і безперервної передачі інформації.

Незважаючи на всі ці переваги, варто зазначити, що досягнення високих швидкостей у Li-Fi також залежить від якості освітлювальних приладів та оптичних систем. Зокрема, швидкість передачі може знижуватися в умовах сильного зовнішнього освітлення (сонячне світло або інші джерела світла), а також за наявності перешкод між передавачем і приймачем. Однак наукові розробки в цьому напрямі спрямовані на подолання цих обмежень, що робить Li-Fi перспективною технологією для масового впровадження в майбутньому.

Відсутність радіочастотних перешкод

Однією з важливих переваг технології Li-Fi є відсутність радіочастотних перешкод, що є особливо важливою особливістю у багатьох сучасних середовищах, де існують значні проблеми з радіочастотними перешкодами. Традиційні бездротові технології, такі як Wi-Fi, використовують радіохвилі для передачі даних, і ці радіохвилі можуть взаємодіяти один з одним або з іншими

електронними пристроями, що веде до інтерференцій та зниження якості сигналу. Власне через ці обмеження в багатьох ситуаціях забезпечення стабільного та швидкого зв'язку може бути складним завданням.

З Li-Fi ситуація радикально відрізняється. Вона використовує світло для передачі даних, і це принципово інший фізичний механізм, порівняно з радіохвилями. Світлові хвилі, на відміну від радіохвиль, не можуть проникати крізь стіни або інші перешкоди. Це означає, що кожна зона покриття освітлювального приладу є обмеженою і визначеною. Цей фактор створює ідеальні умови для уникнення проблем з інтерференцією між різними пристроями, що працюють у межах однієї радіочастотної діапазони.

Однією з головних причин, чому Li-Fi уникатиме радіочастотних перешкод, є те, що світло не викликає перешкод з іншими радіочастотними пристроями, такими як мобільні телефони, рації або бездротові маршрутизатори. Це особливо важливо в місцях з високою концентрацією різних радіочастотних пристроїв, таких як конференц-зали, офіси, лікарні або аеропорти, де радіочастотні перешкоди можуть суттєво знизити якість з'єднання і передачі даних.

Крім того, в умовах, де використовується багато різних технологій на основі радіохвиль (наприклад, Wi-Fi, Bluetooth, мобільні мережі), може виникати значне перевантаження частотного спектра. Це створює додаткові труднощі в забезпеченні надійного з'єднання, оскільки всі ці технології працюють на обмежених радіочастотах, що збільшує ймовірність перешкод і зниження пропускної здатності. В таких умовах Li-Fi виглядає як потужне рішення, яке дозволяє звільнити радіочастотний спектр для критично важливих додатків, таких як медичні пристрої або безпілотні автомобілі, що потребують гарантованого та стабільного з'єднання.

Протягом останніх кількох років у великих містах та промислових зонах кількість електронних пристроїв, які використовують радіохвилі, значно зросла. Це призвело до проблем із перевантаженням частотного спектра і виникненням значної кількості перешкод. Для таких середовищ Li-Fi стає дуже перспективним

варіантом, оскільки воно дозволяє уникати цих складнощів і забезпечувати швидкий і стабільний зв'язок. Завдяки цьому технологія Li-Fi має потенціал стати основним рішенням для корпоративного використання, де є необхідність у забезпеченні високої швидкості передачі даних і мінімізації проблем з інтерференцією.

Окрім того, що Li-Fi позбавлений радіочастотних перешкод, цей фактор також забезпечує більшу безпеку передачі даних. Світло не може проникати за межі приміщення (наприклад, через стіни), і тому доступ до інформації в зоні покриття можна обмежити фізичною доступністю до освітлювального пристрою. Це також робить Li-Fi більш захищеним від спроб злому, які часто виникають у випадках, коли хакери намагаються перехопити сигнал Wi-Fi в межах бездротової мережі. В умовах використання Li-Fi для підприємств, де конфіденційність і захист інформації є критично важливими, ця особливість може стати ще одним важливим аргументом на користь впровадження цієї технології.

Таким чином, відсутність радіочастотних перешкод є одним із ключових переваг Li-Fi. Вона дозволяє забезпечити надійний та стабільний зв'язок у середовищах з високим рівнем радіочастотного шуму, а також відкриває можливості для використання технології в умовах, де традиційні бездротові технології не можуть ефективно функціонувати. Це робить Li-Fi перспективною технологією для впровадження в міське середовище, корпоративні мережі та інші критичні сфери.

Одна з найбільших переваг технології Li-Fi полягає в підвищеній безпеці передачі даних, що робить її особливо привабливою для використання в умовах, де захист інформації є критичним. Безпека є важливим аспектом будь-якої бездротової технології, і Li-Fi завдяки своїй фізичній природі передачі даних через світло має кілька важливих переваг порівняно з традиційними радіочастотними технологіями.

Однією з основних причин, чому Li-Fi є безпечнішою, є те, що світло має обмежену здатність проникати через фізичні об'єкти, такі як стіни. Це означає, що сигнал, який передається через Li-Fi, не може покинути приміщення, яке

освітлюється джерелом світла. У традиційних бездротових мережах, таких як Wi-Fi, сигнал може легко проникати через стіни або вікна, що робить його вразливим для перехоплення або несанкціонованого доступу ззовні. Ця особливість створює серйозні ризики для безпеки в місцях, де зберігаються важливі або конфіденційні дані.

З Li-Fi сигнал передається тільки в межах одного приміщення, і доступ до нього можливий лише в тому випадку, якщо пристрій фізично знаходиться в зоні видимості освітлювального пристрою. Це ускладнює можливість перехоплення або злому даних сторонніми особами, що значно підвищує рівень безпеки.

Крім того, Li-Fi не використовує електромагнітні хвилі для передачі сигналу, що є типовим для традиційних бездротових мереж. Це значно знижує ризик перехоплення сигналу, оскільки радіочастоти можуть бути виявлені за допомогою спеціалізованого обладнання для сканування радіочастотного спектра. У випадку з Li-Fi, оскільки передача даних відбувається через світло, сигнал не може бути виявлений за межами зони видимості, що значно ускладнює можливість злому або перехоплення інформації.

Технологія Li-Fi також дозволяє застосовувати додаткові рівні шифрування для підвищення безпеки даних. Оскільки світлові хвилі можна маніпулювати дуже точно і передавати через різні спектри, існують можливості для реалізації складних шифрувальних алгоритмів без втрати швидкості передачі. Це робить передачу даних ще більш захищеною і менш вразливою для зовнішніх атак.

Іншою важливою перевагою є те, що оскільки сигнал Li-Fi не може проникати через стіни і має обмежену зону дії, це робить цю технологію особливо корисною для використання в закритих приміщеннях, таких як банки, лікарні, урядові установи, де захист даних і конфіденційність є критично важливими. В таких умовах доступ до інформації можливий лише в межах прямої видимості світлового джерела. Це робить її ідеальним вибором для створення мереж, де необхідна висока безпека.

Оскільки Li-Fi не використовує традиційні радіочастотні канали, її використання значно знижує ймовірність атак типу "Man in the Middle" або інших

спроб несанкціонованого втручання. Це важливо у випадках, коли важливо забезпечити конфіденційність переданих даних, наприклад, в державних або фінансових установах, де будь-яке витікання інформації може призвести до серйозних наслідків.

В цілому, технологія Li-Fi має багато переваг у порівнянні з традиційними радіочастотними бездротовими мережами, особливо в аспектах безпеки. Вона забезпечує можливість передачі даних у межах одного приміщення, значно знижуючи ризик несанкціонованого доступу до інформації. Всі ці фактори роблять Li-Fi перспективною технологією для використання в умовах, де важлива максимальна конфіденційність і захист переданих даних.

Енергоефективність та інтеграція з освітленням.

Одна з основних переваг технології Li-Fi полягає в її високій енергоефективності, що робить її надзвичайно привабливою для широкого застосування в різних сферах. Завдяки використанню наявних джерел освітлення для передачі даних, Li-Fi не тільки знижує енергоспоживання, але й пропонує зручний та економічно ефективний спосіб організації бездротових мереж.

Однією з ключових характеристик Li-Fi є його здатність інтегруватися з існуючими системами освітлення. Ця особливість робить технологію надзвичайно енергоефективною, оскільки немає потреби в додаткових джерелах живлення для пристроїв передачі даних. Система освітлення, яка вже використовується в приміщеннях, таких як офіси, фабрики, навчальні заклади, готелі та інші об'єкти, може бути модифікована для забезпечення передачі даних без потреби в додатковій інфраструктурі.

Технологія Li-Fi дозволяє використовувати світлові діоди (LED) не тільки для освітлення приміщення, але й для передачі даних. Оскільки світлодіоди споживають значно менше енергії в порівнянні з традиційними лампами розжарювання або галогенними лампами, інтеграція Li-Fi з освітленням дозволяє значно знижувати загальні енергетичні витрати на функціонування системи бездротового зв'язку.

Li-Fi може значно знизити загальні енергетичні витрати в порівнянні з традиційними технологіями передачі даних, такими як Wi-Fi або мобільні мережі. Зокрема, Wi-Fi та інші бездротові технології потребують значної кількості енергії для забезпечення покриття в великих просторах і для підтримки підключення безлічі пристроїв одночасно. У той же час Li-Fi використовує енергію, що вже споживається світловими приладами, таким чином, знижуючи потребу в додатковому живленні для передавачів і приймачів.

Завдяки використанню світлових хвиль для передачі інформації, технологія Li-Fi вимагає значно менше енергії на передачу великих обсягів даних у порівнянні з традиційними бездротовими технологіями. Це робить її не лише більш економічною для кінцевих споживачів, але й сприяє зниженню викидів CO₂ в умовах глобальних зусиль із зменшення енергоспоживання та впливу на навколишнє середовище.

Технологія Li-Fi також відкриває можливості для інтеграції з "розумними" будівлями та автоматизованими системами керування. У таких будівлях використовуються різноманітні технології для оптимізації енергоспоживання, включаючи автоматичне керування освітленням, вентиляцією, кондиціонуванням повітря та іншими системами. З Li-Fi інтеграція з цими технологіями стає ще більш ефективною, оскільки дані можуть передаватися через ту саму мережу освітлення, що і керування іншими системами.

Оскільки Li-Fi передає дані через світло, це дозволяє інтегрувати систему освітлення та інформаційно-комунікаційні технології, що знижує потребу в окремих системах для передачі даних. Це значно полегшує інтеграцію в "розумні" будівлі, де важлива оптимізація споживання енергії та управління всіма аспектами життя.

Технологія Li-Fi відповідає сучасним вимогам енергоефективності та екологічності. Оскільки вона використовує світлодіоди, які споживають набагато менше енергії, ніж традиційні джерела світла, Li-Fi може вписуватися в концепцію "зеленої" енергетики. У поєднанні з іншими технологіями енергозбереження та відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні панелі,

Li-Fi може стати важливою частиною інфраструктури "розумних" міст та будівель, що ставить акцент на зменшення викидів парникових газів та зниження енергетичних витрат.

Впровадження Li-Fi в уже існуючі інфраструктури, зокрема в мережі освітлення, значно спрощує процес модернізації. Це не вимагає великих інвестицій у нове обладнання або великомасштабні реконструкції будівель. Додавання Li-Fi до систем освітлення є економічно вигідним і менш затратним процесом, оскільки використовуються вже наявні світлодіоди, що підтримують двосторонню передачу даних. Це дозволяє значно скоротити витрати на встановлення нових комунікаційних мереж, при цьому зберігаючи всі переваги високошвидкісного Інтернету та бездротової передачі даних.

Недоліки технології.

Незважаючи на численні переваги технології Li-Fi, існують і певні недоліки, які варто враховувати при її впровадженні. Ці обмеження зумовлені як фізичними властивостями світла, так і поточним етапом розвитку технології.

Обмежена зона дії: одним із основних недоліків Li-Fi є обмежена зона дії. Технологія потребує прямої видимості між передавачем і приймачем, оскільки світло не може проходити через тверді предмети, такі як стіни, перегородки або меблі. Це значно знижує можливості використання Li-Fi в умовах великих відкритих просторів або багатоповерхових будівель. Для забезпечення повного покриття навіть середніх за розміром приміщень необхідно розміщувати велику кількість передавачів, що, у свою чергу, збільшує витрати на впровадження мережі. У великих офісах або на підприємствах це означає, що необхідно розміщувати більше точок доступу для забезпечення стабільного сигналу, що може призвести до високих витрат на установку і технічне обслуговування системи.

Вплив зовнішнього освітлення: однією з великих технічних проблем Li-Fi є вплив зовнішніх джерел світла, таких як сонячне світло або яскраве штучне освітлення. Інтенсивне природне освітлення, яке може проникати через вікна, або занадто яскраве штучне освітлення, здатні значно послабити або навіть

блокувати сигнал, що передається через світлодіоди. Це обмежує використання Li-Fi в умовах, де освітлення важливе або є постійним джерелом впливу, наприклад, у виробничих цехах або відкритих офісах. Хоча можна вживати заходів для захисту сигналу, таких як фільтри, це все одно може призвести до зниження ефективності технології. Тому Li-Fi більше підходить для приміщень, де рівень зовнішнього освітлення контролюється, а також для умов, де можливе регулювання яскравості освітлення.

Низька проникаюча здатність: крім того, що світло не може проникати через стіни, ще однією важливою особливістю технології Li-Fi є те, що сигнал може бути заблокований навіть незначними об'єктами, які перебувають між передавачем і приймачем. Це може бути навіть тонкий шар паперу або інші матеріали, які здатні повністю або частково перекривати світловий сигнал. Це знижує гнучкість і адаптивність Li-Fi у середовищах, де розташування пристроїв може змінюватися або де присутня велика кількість рухомих об'єктів, які можуть перешкоджати передачі сигналу. У динамічних умовах, таких як офіси, склади, торгові площі, де меблі і люди постійно змінюють своє місце розташування, технологія Li-Fi може бути менш ефективною.

Відсутність стандартизації: ще одним важливим недоліком є відсутність єдиних стандартів для Li-Fi. Технологія ще на ранньому етапі розвитку, і хоча вже існують прототипи та окремі комерційні рішення, немає єдиного глобального стандарту, який би забезпечував сумісність між різними виробниками обладнання. Відсутність загальних стандартів ускладнює інтеграцію різних компонентів і технічних рішень в єдину мережу. Це може призвести до складнощів у впровадженні Li-Fi в масштабах підприємства або організації, оскільки різні виробники можуть використовувати різні технології або модифікації для створення своїх пристроїв. Зокрема, це також може бути перешкодою для подальшого розширення і оновлення мережі, оскільки можуть виникати проблеми сумісності між різними поколіннями обладнання.

Необхідність великої кількості передавачів: ще одним важливим аспектом є потреба в значній кількості передавачів для забезпечення покриття

великої території. Оскільки Li-Fi має короткий діапазон дії і вимагає прямої видимості, то для забезпечення безперебійної роботи у великих або багатоповерхових приміщеннях необхідно встановлювати додаткові передавачі. Це створює додаткові витрати як на покупку пристроїв, так і на їх монтаж і налаштування. Крім того, у випадках, коли приміщення потребує яскравого освітлення, зростають витрати на енергію, оскільки передавачі та освітлювальні системи працюватимуть паралельно.

Висока залежність від технічного обслуговування: оскільки Li-Fi використовує світлові хвилі для передачі даних, важливим є правильне обслуговування всіх компонентів системи. Світлові передавачі, такі як світлодіоди, потребують регулярного технічного обслуговування і перевірки, щоб уникнути проблем з ефективністю їх роботи. Також необхідно постійно слідкувати за рівнем освітлення в приміщеннях і підтримувати оптимальні умови для ефективної роботи Li-Fi.

Потреба у постійному освітленні: технологія Li-Fi повністю залежить від постійного освітлення. Якщо освітлення вимкнене або недостатнє, передача даних стає неможливою. В таких випадках необхідно організувати резервні джерела живлення або забезпечити автоматичне включення освітлення при використанні мережі. Це може бути недоліком у випадках, коли вимикають освітлення для економії енергії або в умовах природної темряви, як, наприклад, вночі.

Загалом, хоча Li-Fi має великий потенціал і приносить численні переваги, його недоліки також не слід ігнорувати. Вони вимагають детального врахування під час планування впровадження цієї технології в конкретних умовах і можуть суттєво вплинути на рішення щодо її застосування в різних галузях.

1.5. Сфери застосування технології Li-Fi

Технологія Li-Fi, завдяки своїй унікальній характеристиці передачі даних через світло, знаходить застосування в різних специфічних умовах, де традиційні радіочастотні технології, такі як Wi-Fi або мобільний зв'язок, можуть бути менш ефективними або навіть непридатними. Відсутність перешкод від радіохвиль і

підвищена безпека роблять Li-Fi особливо корисним у таких сферах, як медична, авіаційна, військова та інші специфічні галузі.

1. Медичні установи

У медичних установах, таких як лікарні, клініки та дослідницькі лабораторії, існують особливі вимоги до технологій передачі даних. Однією з важливих характеристик, яку має забезпечити мережа, є відсутність радіочастотних перешкод, адже багато медичних приладів, таких як кардіомонітори, апарати для вимірювання тиску та інші пристрої, можуть бути чутливими до радіохвиль.

Технологія Li-Fi вирішує цю проблему, оскільки вона використовує світлові хвилі для передачі даних, що виключає вплив радіочастотних перешкод на медичне обладнання. Крім того, системи Li-Fi можуть бути встановлені без необхідності прокладати додаткові кабелі або створювати нові антени, що робить їх ідеальними для медичних установ, де важливо зберігати стерильність і мінімізувати фізичні зміни в інфраструктурі. Завдяки високій швидкості передачі даних і безпечності передачі інформації, Li-Fi також може бути використаний для бездротової передачі медичних даних, таких як результати аналізів, медичних записів або навіть для моніторингу стану пацієнтів в реальному часі.

2. Авіація

У сфері авіації Li-Fi може бути використаний на борту літаків для передачі даних між різними системами літака або для надання пасажиром доступу до Інтернету. У зв'язку з суворими вимогами до безпеки, використання традиційних радіочастотних технологій, таких як Wi-Fi, є обмеженим на борту літаків. Радіохвилі можуть спричинити перешкоди для авіаційних навігаційних систем і заборонені для використання в деяких зонах літака. У цьому випадку Li-Fi є дуже перспективною альтернативою.

На борту літака світлові хвилі використовуються для передачі інформації між системами, що дає можливість безпечного та високошвидкісного обміну даними. Li-Fi також може бути використаний для забезпечення пасажирів Інтернет-зв'язком під час польоту, не порушуючи при цьому безпеки

навігаційних систем літака. Додатково, Li-Fi може зменшити навантаження на традиційну радіозв'язок і дозволить літакам передавати дані без необхідності використання складних і дорогих радіочастотних систем.

3. Військові застосування

У військовій сфері технологія Li-Fi може бути дуже корисною завдяки своїй здатності забезпечувати безпечний обмін даними в умовах, де радіочастотна комунікація може бути небажаною або навіть небезпечною. У зонах бойових дій радіочастотні сигнали можуть бути перехоплені або спричинити небажане виявлення, що робить традиційні радіочастотні технології ненадійними для безпечної комунікації. Li-Fi, з іншого боку, дозволяє здійснювати передачу даних через світло, що виключає можливість виявлення сигналів за межами приміщення.

Ця технологія може бути використана для забезпечення зв'язку між військовими підрозділами, особливо у закритих приміщеннях або на важливих об'єктах, де необхідно забезпечити високий рівень безпеки передачі інформації. Наприклад, на військових базах або в укриттях, де традиційна радіозв'язок не є можливим, Li-Fi може надати альтернативний варіант для безпечного обміну даними без ризику перехоплення.

4. Підводні дослідження та морські операції

У підводних дослідженнях і морських операціях Li-Fi також може знайти своє застосування. Оскільки традиційні радіохвилі не можуть ефективно передавати сигнали під водою, морські дослідники і підводні оператори стикаються з проблемою обмеженого радіусом дії радіозв'язку в таких умовах. Li-Fi може стати ідеальним рішенням, оскільки світлові хвилі в певних умовах можуть ефективно передавати інформацію через воду.

Зокрема, технологія Li-Fi може бути використана для забезпечення комунікації між підводними роботами, суднами, а також для збору даних з підводних об'єктів або для моніторингу навколишнього середовища. Завдяки високій швидкості передачі і надійності сигналу, Li-Fi може значно покращити ефективність морських операцій та досліджень.

5. Підземні та закриті простори

В умовах підземних просторів або приміщень, де традиційна бездротова комунікація може бути неефективною через перекриття сигналів або перешкоди від різних матеріалів, Li-Fi також може бути дуже корисним. В таких умовах, як, наприклад, у шахтах, тунелях або великих підземних об'єктах, Li-Fi дозволяє створювати стабільні мережі без необхідності в прокладанні великої кількості кабелів.

Завдяки використанню світла, сигнал можна легко передавати через спеціальні світлодіоди, встановлені в стратегічних точках, що дозволяє забезпечити передачу даних у будь-яких умовах. Це особливо важливо в ситуаціях, де швидкість і надійність передачі даних можуть бути критичними для безпеки персоналу або для моніторингу роботи обладнання.

2. Порівняння технологій Li-Fi та Wi-Fi

2.1. Технічні характеристики Wi-Fi та Li-Fi

Технології Wi-Fi та Li-Fi стали ключовими елементами сучасної інфраструктури бездротового зв'язку, які забезпечують передачу даних без використання кабельного з'єднання. Незважаючи на те, що обидві технології виконують схожу функцію, вони базуються на різних принципах роботи, що зумовлює їхні унікальні технічні особливості, переваги та обмеження.

Wi-Fi, або Wireless Fidelity, використовує радіохвилі для передачі даних між пристроями. Ця технологія забезпечила революцію в доступі до Інтернету та локальних мереж, ставши стандартом для домашнього, офісного та промислового використання. Завдяки постійному розвитку стандартів Wi-Fi здатен задовольняти зростаючі вимоги до швидкості, пропускної здатності та надійності зв'язку. Він вирізняється універсальністю, широким радіусом дії та сумісністю з більшістю сучасних пристроїв. Проте використання радіочастотного спектра також має свої обмеження, такі як чутливість до перешкод та інтерференції.

Li-Fi, або Light Fidelity, є новітньою технологією, яка використовує імпульси світла для передачі даних. На відміну від Wi-Fi, ця технологія базується на використанні видимого спектра світла, що робить її перспективною альтернативою у середовищах, де радіохвилі можуть бути небажаними або неефективними. Li-Fi забезпечує надзвичайно високу швидкість передачі даних, значно ширший спектр доступних частот і більш високий рівень безпеки, оскільки сигнал обмежується зоною видимості. Водночас ця технологія має і певні обмеження, пов'язані з необхідністю прямої видимості між передавачем та приймачем.

Аналіз технічних характеристик Wi-Fi та Li-Fi дозволяє глибше зрозуміти їхній потенціал, особливості роботи та обмеження. Це є ключовим аспектом для вибору найбільш підходящої технології залежно від умов і потреб конкретного середовища використання. Розгляд їхніх характеристик дає змогу оцінити, яка

технологія є більш ефективною для тих чи інших задач, а також виявити можливості їхнього взаємодоповнення в гібридних системах.

Wi-Fi: Характеристики технології

Wi-Fi (Wireless Fidelity) є стандартом бездротового зв'язку, що забезпечує стабільну роботу локальних мереж та доступ до Інтернету. Його технічні характеристики постійно вдосконалюються завдяки розвитку нових стандартів, що розширюють можливості технології.

Частотний діапазон: Wi-Fi працює в радіочастотному спектрі з основними діапазонами 2,4 ГГц, 5 ГГц і, у новіших версіях, 6 ГГц.

- 2,4 ГГц: забезпечує більшу дальність дії та прохідність сигналу через перешкоди (стіни, меблі). Проте цей діапазон часто перевантажений через велику кількість пристроїв, які його використовують.
- 5 ГГц: має більшу пропускну здатність і швидкість, але обмежену дальність через коротші хвилі.
- 6 ГГц: новий діапазон у стандарті Wi-Fi 6E, забезпечує мінімальну інтерференцію та високу швидкість передачі, хоча сигнал проникає через перешкоди значно гірше.

Ширина каналу: Wi-Fi підтримує канали шириною 20, 40, 80 або 160 МГц. Більша ширина каналу підвищує пропускну здатність, але також збільшує ризик інтерференції.

Стандарти Wi-Fi: розвиток Wi-Fi забезпечив появу кількох стандартів, кожен з яких має специфічні технічні можливості:

- Wi-Fi 4 (802.11n): до 600 Мбіт/с, діапазони 2,4 і 5 ГГц.
- Wi-Fi 5 (802.11ac): до 3,5 Гбіт/с, діапазон 5 ГГц.
- Wi-Fi 6 (802.11ax): до 9,6 Гбіт/с, діапазони 2,4, 5 і 6 ГГц.

Дальність дії: радіус покриття Wi-Fi залежить від частотного діапазону, потужності передавача та фізичних умов середовища. У приміщенні дальність дії зазвичай становить до 50 метрів, на відкритому просторі — до 100 метрів.

Принцип роботи: технологія Wi-Fi базується на використанні радіохвиль для передачі даних. Сигнал модулюється за допомогою методів, таких як OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), які дозволяють зменшити вплив перешкод і покращити якість передачі.

Енергоспоживання: Wi-Fi споживає значну кількість енергії, особливо під час активної передачі даних. Проте сучасні стандарти, такі як Wi-Fi 6, оптимізують енергоспоживання за рахунок функції Target Wake Time, що дозволяє пристроям "прокидатися" лише в потрібний момент.

Li-Fi: Характеристики технології

Li-Fi (Light Fidelity) використовує видимий світловий спектр для передачі даних. Це нова технологія, яка пропонує альтернативу Wi-Fi в умовах, де радіохвилі можуть бути неефективними або небажаними.

Частотний діапазон: Li-Fi працює в межах видимого світлового спектра (400–800 ТГц), а також в інфрачервоному та ультрафіолетовому діапазонах. Завдяки цьому спектр даних є значно ширшим за радіочастотний.

Світлові передавачі та приймачі: основним елементом Li-Fi є світлодіоди (LED), які одночасно забезпечують освітлення та передачу даних. Для прийому сигналу використовуються фотодіоди, які перетворюють імпульси світла у цифрову інформацію.

Модуляція світлового сигналу: для передачі даних використовуються швидкі імпульси світла, невидимі людському оку. Основні методи модуляції включають On-Off Keying (ООК) та Pulse Position Modulation (PPM).

Дальність дії: Li-Fi обмежується зоною прямої видимості. У середньому дальність становить до 10 метрів. Для покриття більших площ потрібно встановлювати додаткові світлодіодні передавачі.

Принцип роботи: Li-Fi передає дані через зміни інтенсивності світла, які розпізнаються приймачами і перетворюються на цифрові сигнали. Це забезпечує високу точність передачі навіть у складних умовах.

Енергоспоживання: використання LED-ламп дозволяє поєднувати освітлення приміщень із передачею даних, що значно знижує витрати на електроенергію.

Порівняння Wi-Fi та Li-Fi

Таблиця 1

Характеристика	Wi-Fi	Li-Fi
Частотний діапазон	2,4 ГГц, 5 ГГц, 6 ГГц	400–800 ТГц
Швидкість передачі	До 9,6 Гбіт/с	До 224 Гбіт/с
Дальність дії	До 100 м	До 10 м
Пропускна здатність	Обмежена радіочастотним спектром	Висока завдяки широкому спектру
Енергоспоживання	Середнє	Низьке (використання LED)
Безпека	Захист через шифрування	Висока завдяки ізоляції світлом
Стійкість до перешкод	Схильність до інтерференції	Немає впливу радіоперешкод

2.2. Швидкість передачі даних та пропускна здатність

Швидкість передачі даних та пропускна здатність є ключовими параметрами, які визначають ефективність бездротових мереж і можливість їх застосування для різних задач. Технології Wi-Fi та Li-Fi, хоча і виконують схожі функції, суттєво відрізняються за цими характеристиками завдяки використанню різних фізичних принципів передачі інформації. Аналіз цих показників дозволяє зрозуміти, яка з технологій краще підходить для конкретних потреб.

Швидкість передачі даних Wi-Fi

Wi-Fi базується на передачі даних через радіохвилі. Швидкість передачі даних у цій технології безпосередньо залежить від стандарту, який використовується. Нижче наведено ключові стандарти Wi-Fi та їхні характеристики:

1) 802.11b (1999 рік):

- Максимальна швидкість: до 11 Мбіт/с.
- Діапазон: 2,4 ГГц.
- Хоча цей стандарт був революційним на момент свого впровадження, його пропускна здатність вже не відповідає сучасним вимогам, що обмежує його застосування.

2) 802.11g (2003 рік):

- Максимальна швидкість: до 54 Мбіт/с.
- Діапазон: 2,4 ГГц.
- Завдяки вищій швидкості передачі, цей стандарт став значним кроком уперед, але з часом також застарів.

3) 802.11n (Wi-Fi 4):

- Максимальна швидкість: до 600 Мбіт/с.
- Діапазони: 2,4 і 5 ГГц.
- Цей стандарт забезпечив значне покращення швидкості завдяки впровадженню MIMO (Multiple Input Multiple Output).

4) 802.11ac (Wi-Fi 5):

- Максимальна швидкість: до 3,5 Гбіт/с.
- Діапазон: 5 ГГц.
- Вищий рівень швидкості робить цей стандарт популярним для стримінгу відео високої якості та онлайн-ігор.

5) 802.11ax (Wi-Fi 6):

- Максимальна швидкість: до 9,6 Гбіт/с.
- Діапазони: 2,4 ГГц, 5 ГГц, 6 ГГц.

- Новітній стандарт, який підтримує більшу кількість одночасних підключень та забезпечує мінімальні затримки передачі.

Швидкість передачі даних Li-Fi

Li-Fi використовує видимий світловий спектр, що забезпечує значно ширший діапазон частот порівняно з Wi-Fi. Завдяки цьому технологія має потенціал для досягнення набагато вищої швидкості передачі даних.

Теоретична швидкість: у лабораторних умовах швидкість передачі даних через Li-Fi досягала 224 Гбіт/с, що суттєво перевищує можливості Wi-Fi. Такий результат досягається завдяки використанню широкого спектра частот видимого світла.

Реальні умови використання: у практичних умовах швидкість Li-Fi може варіюватися від кількох сотень Мбіт/с до кількох Гбіт/с залежно від якості освітлення, відстані до приймача та характеристик середовища.

Фактори, що впливають на швидкість:

- Інтенсивність світла: сильніше освітлення забезпечує кращу якість сигналу.
- Дистанція: з віддаленням від джерела світла швидкість передачі знижується.
- Перешкоди: тіні або непрозорі об'єкти можуть блокувати сигнал і знижувати швидкість передачі даних.

Пропускна здатність Wi-Fi

Пропускна здатність Wi-Fi визначається кількома факторами, зокрема шириною каналу, кількістю потоків передачі даних та підтримкою технологій MIMO.

Ширина каналу: Wi-Fi використовує канали шириною 20, 40, 80 або 160 МГц. Чим ширший канал, тим більше даних можна передати одночасно. Проте використання широких каналів може створювати інтерференцію з іншими мережами.

Технологія MIMO: сучасні стандарти, такі як Wi-Fi 5 і Wi-Fi 6, підтримують використання кількох антен для передачі та прийому даних. Це дозволяє підвищити пропускну здатність, оскільки кожна антена може передавати окремий потік даних.

Кількість одночасних підключень: Wi-Fi 6 здатен підтримувати більшу кількість пристроїв у мережі без суттєвого зниження швидкості передачі. Це досягається завдяки використанню технології OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access).

Пропускна здатність Li-Fi

Li-Fi має величезний потенціал у сфері пропускну здатності завдяки використанню широкого спектра видимого світла.

Ширина спектра: видимий спектр світла в тисячі разів ширший за радіочастотний спектр, що забезпечує більшу пропускну здатність.

Одночасні підключення: оскільки кожен світлодіодний передавач може працювати як окремий вузол, Li-Fi може підтримувати велику кількість одночасних підключень без зниження якості передачі даних.

Вплив навколишнього середовища: пропускна здатність Li-Fi може змінюватися залежно від рівня освітлення та перешкод у середовищі, таких як пил, тіні або прозорість матеріалів.

Порівняння швидкості передачі даних та пропускну здатності Wi-Fi і Li-Fi

Таблиця 2

Параметр	Wi-Fi	Li-Fi
Максимальна швидкість	До 9,6 Гбіт/с	До 224 Гбіт/с
Реальна швидкість	100 Мбіт/с – кілька Гбіт/с	Сотні Мбіт/с – кілька Гбіт/с

Пропускна здатність	Обмежена радіочастотним спектром	Висока завдяки широкому спектру
Вплив перешкод	Інтерференція від інших мереж	Залежність від видимості світла
Кількість підключень	Висока завдяки OFDMA	Дуже висока в окремих зонах

Wi-Fi та Li-Fi демонструють різні підходи до передачі даних, і кожна з технологій має свої переваги залежно від умов використання. Wi-Fi забезпечує достатню швидкість та пропускну здатність для повсякденного використання, особливо у великих приміщеннях з багатьма перешкодами. Li-Fi, у свою чергу, має значний потенціал у середовищах, де потрібна висока швидкість передачі даних, безпека і відсутність радіоперешкод. Обидві технології можуть бути використані як доповнення одна до одної, створюючи гібридні системи зв'язку, що максимально відповідають потребам сучасного користувача.

2.3. Безпека передачі даних

Характеристики Wi-Fi.

Методи шифрування в Wi-Fi

Шифрування є основним засобом захисту даних у мережах Wi-Fi. Протягом років були розроблені кілька протоколів для забезпечення безпеки, кожен із яких мав свої переваги та недоліки.

WEP (Wired Equivalent Privacy): це перший стандарт шифрування, розроблений для Wi-Fi. Він використовує статичні ключі для кодування даних, що передаються. Основні недоліки WEP:

- Низький рівень захисту: статичні ключі легко піддаються зламу, навіть за допомогою простих інструментів.
- Вразливість до перехоплення: через слабе шифрування зловмисники можуть перехоплювати трафік і відновлювати ключі.

WPA (Wi-Fi Protected Access): цей протокол прийшов на зміну WEP і включає динамічні ключі шифрування. Його основні переваги:

- Використання TKIP (Temporal Key Integrity Protocol), який регулярно змінює ключі шифрування.
- Покращена стійкість до перехоплення даних.

Однак WPA також має певні недоліки, зокрема вразливість до атак через застаріле обладнання.

WPA2: це вдосконалений стандарт шифрування, який став основним для сучасних мереж. Його ключові особливості:

- Використання AES (Advanced Encryption Standard), що забезпечує високий рівень захисту.
- Сумісність із більшістю пристроїв.

Проте навіть WPA2 може бути вразливим до атак типу KRACK (Key Reinstallation Attacks), якщо пристрої не оновлені до останніх версій програмного забезпечення.

WPA3: новітній протокол, що забезпечує значно вищий рівень безпеки:

- Захист від атак перебору паролів (брутфорсу): WPA3 обмежує кількість спроб введення пароля, що унеможливорює їхній автоматичний підбір.
- Персональний режим (Personal Mode): забезпечує індивідуальне шифрування для кожного користувача в мережі.
- Захист відкритих мереж: навіть у відкритих Wi-Fi мережах забезпечується базовий рівень шифрування.

Методи аутентифікації

Аутентифікація є ще одним важливим рівнем захисту Wi-Fi мереж. Існують різні методи, які забезпечують доступ до мережі лише авторизованим користувачам.

Паролі: найбільш розповсюджений метод, який дозволяє захистити мережу від несанкціонованого доступу. Проте ефективність цього методу залежить від складності пароля.

Аутентифікація за сертифікатами: застосовується у корпоративних мережах. Користувач повинен надати цифровий сертифікат, що підтверджує його право на підключення до мережі.

Двофакторна аутентифікація (2FA): цей метод додає додатковий рівень захисту, вимагаючи введення одноразового коду, який надсилається на мобільний пристрій користувача.

Вразливості Wi-Fi

Незважаючи на наявність протоколів захисту, Wi-Fi мережі залишаються вразливими до різних типів атак:

Перехоплення трафіку: зловмисники можуть використовувати спеціальні програми для моніторингу мережі та перехоплення незашифрованих даних, таких як логіни, паролі або повідомлення.

Атаки підміни точки доступу (Rogue Access Point): зловмисник створює фальшиву точку доступу з такою ж назвою, як у легітимної мережі. Користувачі підключаються до неї, і їхній трафік контролюється зловмисником.

Брутфорс-атаки: автоматичний підбір паролів для отримання доступу до захищених мереж, особливо якщо паролі прості або короткі.

Дос-атаки (Denial of Service): перевантаження точки доступу великою кількістю запитів, що робить її недоступною для користувачів.

Wi-Fi мережі забезпечують високий рівень гнучкості та зручності у використанні, але їхня безпека залишається залежною від застосованих протоколів, налаштувань мережі та обізнаності користувачів. Протоколи WPA2 та WPA3 забезпечують сучасний рівень захисту, але їхнє ефективне використання потребує правильної конфігурації мережі та впровадження додаткових заходів захисту. Навіть із усіма вдосконаленнями Wi-Fi все ще залишається вразливим до певних типів атак, що вимагає постійного моніторингу та оновлення систем безпеки.

Безпека передачі даних: Li-Fi.

Li-Fi, завдяки своїм фізичним особливостям, забезпечує новий рівень безпеки передачі даних. Оскільки ця технологія використовує світловий спектр для зв'язку, а не радіохвилі, вона має природні переваги у захисті інформації. Проте, як і будь-яка технологія, Li-Fi також має свої вразливості, які необхідно враховувати.

Фізична ізоляція сигналу: світловий сигнал, що використовується в Li-Fi, не проходить через стіни та інші непрозорі об'єкти. Це обмежує зону дії сигналу фізичними межами приміщення, у якому встановлено передавач.

- Перевага: значно ускладнює можливість перехоплення даних злоумисниками за межами приміщення.
- Практичне застосування: ідеально підходить для офісів, конференц-залів, банків та інших середовищ, де потрібно запобігти несанкціонованому доступу до інформації.

Захист від радіоперешкод: оскільки Li-Fi працює у видимому спектрі, він повністю незалежний від радіочастотних перешкод. Це робить технологію надійною в умовах високої щільності бездротових пристроїв або в середовищах, де радіоперешкоди є серйозною проблемою.

Відсутність сигналу за межами прямої видимості: Li-Fi сигнал передається тільки в зоні прямої видимості між світлодіодним передавачем і фотодіодним приймачем. Це унеможливує випадкове підключення до мережі сторонніх осіб.

Вразливості Li-Fi

Хоча Li-Fi має високий рівень безпеки, існують певні потенційні загрози, які можуть бути використані злоумисниками:

Фізичний доступ до приміщення: якщо злоумисник має доступ до приміщення, де знаходиться Li-Fi передавач, він може отримати доступ до мережі.

- Є можливість вирішення встановленням додаткових заходів фізичної безпеки, таких як контроль доступу або відеоспостереження.

Світлові перешкоди: яскраве природне світло, джерела штучного освітлення або об'єкти, що створюють тіні, можуть знижувати якість сигналу та створювати проблеми для передачі даних.

- Є можливість вирішення оптимізацією розташування передавачів і налаштування системи для роботи в умовах змінного освітлення.

Підміна джерела світла: у деяких випадках зловмисник може замінити світлодіодний передавач на пристрій, який записує або модифікує дані.

- Є можливість вирішення регулярним моніторингом та перевіркою обладнання.

Чутливість до пилу та прозорості середовища: пил або забруднення поверхонь, через які проходить світло, можуть впливати на якість сигналу.

Методи захисту Li-Fi мереж

Шифрування даних: хоча фізична ізоляція Li-Fi зменшує потребу в складному шифруванні, у критично важливих середовищах все ж варто використовувати сучасні методи шифрування, такі як AES.

Контроль фізичного доступу: встановлення систем контролю доступу до приміщень, де працює мережа Li-Fi, є важливим заходом для захисту від зловмисників.

Оптимізація освітлення: налаштування інтенсивності та розташування світлодіодів для мінімізації перешкод від зовнішніх джерел світла.

Інтеграція з іншими технологіями: Li-Fi може бути доповнений іншими технологіями, такими як Wi-Fi, для забезпечення надійності зв'язку в ситуаціях, коли зменшується якість сигналу.

1. Порівняння безпеки Wi-Fi та Li-Fi

Таблиця 3

Характеристика	Wi-Fi	Li-Fi
Проникність сигналу	Сигнал проходить через стіни та інші перешкоди, що дозволяє працювати в різних приміщеннях, але підвищує ризик несанкціонованого доступу.	Сигнал обмежується зоною прямої видимості, не проходить через стіни, що забезпечує високу фізичну безпеку.
Вразливість до перехоплення	Висока, особливо в незашифрованих мережах або мережах із застарілими протоколами (WEP).	Низька, оскільки перехоплення можливе лише в межах фізичної зони дії сигналу.
Шифрування даних	Високий рівень шифрування доступний у сучасних протоколах (WPA3, AES), але залежить від налаштувань користувача.	Можливе використання стандартних алгоритмів шифрування, але через фізичну ізоляцію це не завжди обов'язково.
Чутливість до перешкод	Сигнал може зазнавати радіоінтерференції від інших мереж, електронних пристроїв та радіочастотного обладнання.	Чутливий до перешкод у вигляді тіней, об'єктів, що блокують світло, та інтенсивного зовнішнього освітлення.
Фізична безпека	Вимагає додаткових заходів, таких як контроль доступу до обладнання та налаштування мережі.	Забезпечується природним обмеженням сигналу в межах приміщення, де встановлений передавач.

Характеристика	Wi-Fi	Li-Fi
Вплив навколишнього середовища	Може працювати в будь-яких умовах, якщо немає сильних радіоперешкод.	Потребує стабільного рівня освітлення та відсутності фізичних бар'єрів між передавачем і приймачем.
Ризик несанкціонованого доступу	Високий у відкритих мережах (особливо у публічних Wi-Fi), але знижується завдяки сучасним методам шифрування.	Низький, оскільки зловмисники повинні фізично знаходитися в зоні видимості сигналу
Доступність для атак (брутфорс, Rogue Access Point)	Висока через поширеність Wi-Fi і велику кількість доступних інструментів для зламу.	Дуже низька, оскільки фізична ізоляція сигналу значно ускладнює проведення атак.
Потреба в додаткових заходах безпеки	Необхідні сучасні протоколи, складні паролі, VPN, оновлення обладнання та моніторинг мережі.	Рекомендується контроль доступу до приміщень, моніторинг обладнання та оптимізація розташування передавачів.
Сфери застосування	Загального призначення: будинки, офіси, громадські місця.	Високий рівень безпеки: банки, лікарні, державні установи.
Енергоспоживання	Залежить від активності пристроїв, високі витрати під час великого навантаження на мережу.	Низьке завдяки використанню LED, які поєднують функції освітлення та передачі даних.

2.4. Можливості та обмеження в різних середовищах

Wi-Fi та Li-Fi пропонують різні можливості залежно від умов використання. Вибір між цими технологіями багато в чому залежить від типу середовища, характеристик сигналу та специфічних потреб користувача. У цьому

розділі розглянуто, як обидві технології працюють у різних середовищах, а також їхні обмеження.

Wi-Fi: Можливості та обмеження

Wi-Fi, завдяки використанню радіохвиль, є універсальною технологією для створення бездротових мереж. Її гнучкість дозволяє застосовувати її у широкому діапазоні середовищ — від будинків до великих промислових об'єктів.

Можливості Wi-Fi:

- Дія на великих відстанях: Wi-Fi має радіус дії до 50 метрів у приміщеннях і до 100 метрів на відкритому просторі. Це робить його придатним для покриття великих територій без використання великої кількості точок доступу.
- Підтримка численних пристроїв: Сучасні стандарти Wi-Fi, такі як Wi-Fi 6, забезпечують стабільне підключення десятків пристроїв одночасно, що важливо для офісів, конференцій і домашніх мереж.
- Проникність сигналу через перешкоди: Радіохвилі Wi-Fi можуть проходити крізь стіни, меблі та інші об'єкти, що дозволяє зберігати стабільність зв'язку навіть у багатокімнатних приміщеннях.
- Гнучкість у налаштуваннях: Технологія дозволяє створювати різні типи мереж (інфраструктурні, Ad-hoc, Mesh), адаптуючи їх до потреб конкретного середовища.

Обмеження Wi-Fi:

- Радіоінтерференція: В умовах високої щільності бездротових пристроїв, наприклад, у багатоквартирних будинках, можуть виникати перешкоди через перевантаження радіочастотного спектра.
- Зниження якості сигналу через перешкоди: Товсті стіни, металеві конструкції або пристрої, що створюють радіошуми (мікрохвильові печі, радіоапаратура), можуть значно знижувати швидкість передачі даних.
- Вразливість до атак: У відкритих або погано захищених мережах існує ризик несанкціонованого доступу, перехоплення трафіку чи створення фальшивих точок доступу.

Li-Fi: Можливості та обмеження

Li-Fi, використовуючи видимий спектр світла, пропонує унікальні можливості, але водночас має обмеження, які зумовлені фізичними властивостями світлового сигналу.

Можливості Li-Fi:

- **Висока швидкість передачі даних:** Завдяки широкому спектру видимого світла Li-Fi забезпечує швидкість передачі даних до 224 Гбіт/с у лабораторних умовах, що значно перевищує можливості Wi-Fi.
- **Безпека передачі:** Сигнал Li-Fi обмежується зоною прямої видимості, що робить його неможливим для перехоплення за межами приміщення.
- **Відсутність радіоперешкод:** Li-Fi не піддається впливу радіошуму та не створює його, що дозволяє використовувати технологію в середовищах, де радіохвилі можуть бути небажаними (наприклад, у лікарнях чи літаках).
- **Енергоефективність:** Використання LED-ламп дозволяє поєднувати функції освітлення і передачі даних, знижуючи витрати на електроенергію.

Обмеження Li-Fi:

- **Обмежений радіус дії:** Дальність сигналу Li-Fi зазвичай становить до 10 метрів і залежить від інтенсивності освітлення.
- **Залежність від прямої видимості:** Світловий сигнал не проходить через стіни або інші непрозорі перешкоди. Це обмежує використання технології в багатокімнатних приміщеннях без додаткових передавачів.
- **Вразливість до світлових перешкод:** Яскраве природне світло, тіні чи забруднення можуть знижувати якість сигналу або взагалі блокувати передачу даних.
- **Вартість впровадження:** Для інтеграції Li-Fi у вже існуючу інфраструктуру потрібні спеціальні передавачі та приймачі, що може підвищити початкові витрати.

Wi-Fi та Li-Fi мають свої унікальні можливості та обмеження, які визначають їхню придатність для різних середовищ. Wi-Fi залишається найбільш універсальним рішенням для загального використання завдяки

великому радіусу дії та здатності працювати через стіни. Li-Fi, у свою чергу, забезпечує високий рівень безпеки, відсутність радіоперешкод і виняткову швидкість передачі даних, що робить його ідеальним для специфічних застосувань, таких як медичні установи чи приміщення з високими вимогами до конфіденційності. Обидві технології можуть ефективно доповнювати одна одну, створюючи гібридні системи зв'язку, які максимізують їхні переваги.

1. Середовища використання Wi-Fi та Li-Fi

Таблиця 4

Середовище	Wi-Fi: Можливості та обмеження	Li-Fi: Можливості та обмеження
Житлові приміщення	Забезпечує стабільне покриття у квартирах та будинках, але може страждати від радіоперешкод у багатоквартирних будинках.	Вимагає встановлення додаткових передавачів у кожній кімнаті через обмежений радіус дії.
Офіси та бізнес-центри	Добре працює у великих приміщеннях, але може потребувати додаткових точок доступу для покриття всієї площі.	Підходить для закритих приміщень із високими вимогами до безпеки, але потребує спеціального розміщення передавачів.
Лікарні та медичні заклади	Радіохвилі можуть заважати роботі медичного обладнання.	Li-Fi не створює радіоперешкод і забезпечує безпечну передачу даних.
Промислові об'єкти	Може бути схильним до впливу електромагнітних перешкод від обладнання.	Відмінно підходить для закритих зон без електромагнітного шуму, але чутливий до пилу.
Транспорт (авіація, метро)	Використовується у літаках та поїздах, але потребує ретельної оптимізації для уникнення радіоперешкод.	Підходить для літаків через відсутність впливу на авіаційні прилади, але складно застосовувати в умовах змінного освітлення.

2.5. Висновки

Аналіз технічних характеристик, швидкості передачі даних, безпеки та можливостей використання Wi-Fi і Li-Fi дозволяє оцінити переваги й недоліки кожної з цих технологій, а також їхню придатність до застосування в різних середовищах.

Wi-Fi, як усталена технологія, забезпечує широкий радіус дії, підтримує численні підключення та має високу гнучкість у налаштуваннях. Сучасні стандарти, такі як Wi-Fi 6, значно підвищують пропускну здатність і знижують затримки, що робить цю технологію ідеальною для застосування в житлових приміщеннях, офісах, громадських місцях і на промислових об'єктах. Однак Wi-Fi залишається вразливим до радіоперешкод, а також потребує комплексних заходів для забезпечення безпеки, особливо в умовах відкритих мереж.

Li-Fi, у свою чергу, є інноваційною технологією, яка використовує видиме світло для передачі даних, демонструючи високу швидкість, безпеку та відсутність радіоінтерференції. Завдяки фізичним обмеженням сигналу в межах прямої видимості Li-Fi забезпечує природну захищеність, що робить його ідеальним для середовищ із високими вимогами до безпеки, таких як медичні установи, фінансові організації чи науково-дослідні центри. Водночас його обмеження щодо дальності дії та залежності від освітлення потребують ретельного планування мережі та додаткових передавачів для забезпечення повного покриття.

Порівняння цих двох технологій свідчить про їхню взаємодоповнюваність. Wi-Fi краще підходить для загального застосування в умовах, де потрібен широкий радіус дії та висока масштабованість. Li-Fi ж є перспективним рішенням для спеціалізованих середовищ із підвищеними вимогами до конфіденційності, безпеки та швидкості передачі даних.

3. Моделювання мережі на основі Li-Fi

3.1. Загальні відомості про підприємство та завдання майбутньої мережі

Підприємство, для якого планується впровадження безпроводної мережі на основі технології Li-Fi, спеціалізується на виконанні технічних та адміністративних завдань. У приміщеннях підприємства працюють від 15 до 20 співробітників, що вимагає надійного та швидкого інтернет-з'єднання для виконання щоденних робочих процесів. Діяльність організації включає обробку даних, взаємодію з клієнтами, роботу з великими файлами, онлайн-конференції та інші завдання, що вимагають стабільної та швидкісної передачі інформації.



Рисунок 1 – план приміщення.

Приміщення підприємства складається з кількох зон, які включають робочі кімнати, великі зали для співробітників, переговорні кімнати, адміністративні кабінети та загальні зони для відпочинку. Загальна площа приміщення складає близько 200 м², що поділена на окремі кімнати з різною кількістю робочих місць та обладнання. Основний зал має площу 61,52 м², у ньому розташована значна кількість робочих місць, які потребують одночасного підключення до мережі. Також є окремі невеликі кабінети площею від 14 до 27 м², що призначені для адміністративних завдань, роботи з клієнтами та координації проєктів.

Проблеми існуючої мережі та необхідність впровадження Li-Fi

На сьогодні підприємство використовує традиційні Wi-Fi технології, які вже не відповідають сучасним потребам організації. Основними проблемами є низька швидкість передачі даних, нестабільність з'єднання в окремих зонах приміщення та високий ризик безпекових загроз. У великих робочих залах може спостерігатися перенавантаження каналу через велику кількість одночасно підключених користувачів. Крім того, Wi-Fi сигнал має обмеження у покритті через перешкоди від стін та меблів, що негативно впливає на продуктивність роботи.

Для вирішення цих проблем було вирішено впровадити Li-Fi — інноваційну технологію, що використовує світлодіодне освітлення для передачі даних. Li-Fi забезпечує високу швидкість передачі до 10 Гбіт/с, стабільне з'єднання в межах освітлених зон, а також підвищений рівень захисту інформації, оскільки світловий сигнал не може проникати крізь стіни. Це дозволяє забезпечити максимальну безпеку корпоративної мережі від зовнішніх загроз та несанкціонованого доступу.

Завдання для мережі на основі Li-Fi

Основною метою проекту є побудова ефективної та надійної мережі Li-Fi, що забезпечить всі потреби підприємства у високошвидкісному інтернет-з'єднанні. Зокрема, планується виконання наступних завдань:

1. Оптимізація швидкості передачі даних Li-Fi дозволяє досягати швидкості, значно вищої за можливості Wi-Fi. Це особливо актуально для співробітників, які працюють з великими обсягами даних, відеоконференціями та іншими ресурсомісткими додатками.

2. Стабільне покриття в усіх приміщеннях підприємства. Усі робочі місця, включно з великим залом, кабінетами та переговорними кімнатами, повинні мати надійний доступ до мережі. Це досягається завдяки стратегічному розташуванню світлодіодних передавачів, які одночасно виконують функцію освітлення.

3. **Забезпечення високого рівня безпеки мережі**
Оскільки Li-Fi працює лише в межах видимого світла, сигнал не може бути перехоплений за межами приміщення. Це робить мережу практично недоступною для хакерських атак, що критично важливо для збереження конфіденційної інформації.

4. **Енергоефективність та економічність**
Використання світлодіодів дозволяє поєднувати освітлення приміщень та передачу даних, що зменшує загальне енергоспоживання підприємства. Це особливо актуально у контексті сучасних екологічних стандартів.

5. **Масштабованість та підтримка одночасних підключень**
Li-Fi система має підтримувати підключення 15-20 користувачів без втрати продуктивності мережі. У майбутньому мережа повинна бути готовою до можливого розширення підприємства та збільшення кількості підключених пристроїв.

3.2. Проектування мережі Li-Fi для приміщення підприємства

Проектування мережі Li-Fi для підприємства передбачає комплексний підхід до створення повноцінної системи передачі даних на основі інноваційної технології, яка використовує видимий світловий спектр для бездротового зв'язку. Це завдання охоплює детальне планування розташування передавачів, інтеграцію системи у приміщення з урахуванням фізичних характеристик будівлі, побудову кабельної інфраструктури та визначення зон покриття.

Приміщення підприємства включає кілька зон різного функціонального призначення. Загальна площа приміщення становить близько 200 м². На основі наданого плану приміщення було визначено функціональні зони:

- Великий зал (61,52 м²): основна робоча зона, де розташовані більшість робочих місць.
- Кімнати середнього розміру (23,04 м² та 27,28 м²): приміщення для зустрічей або командної роботи.
- Менші кабінети (14,08 м², 14,4 м² та 17,36 м²): індивідуальні робочі зони або адміністративні приміщення.

Вибір обладнання.

Основне обладнання для побудови мережі включає:

1) *Базові станції: PureLiFi Light Antenna ONE* - це базові станції, які інтегруються в стандартні світлодіодні лампи. Вони передають дані через видимий спектр світла, поєднуючи функції освітлення і передачі інформації. Ця технологія забезпечує високу швидкість передачі даних, що особливо важливо для завдань з великим навантаженням, таких як відеоконференції чи обробка великих файлів.

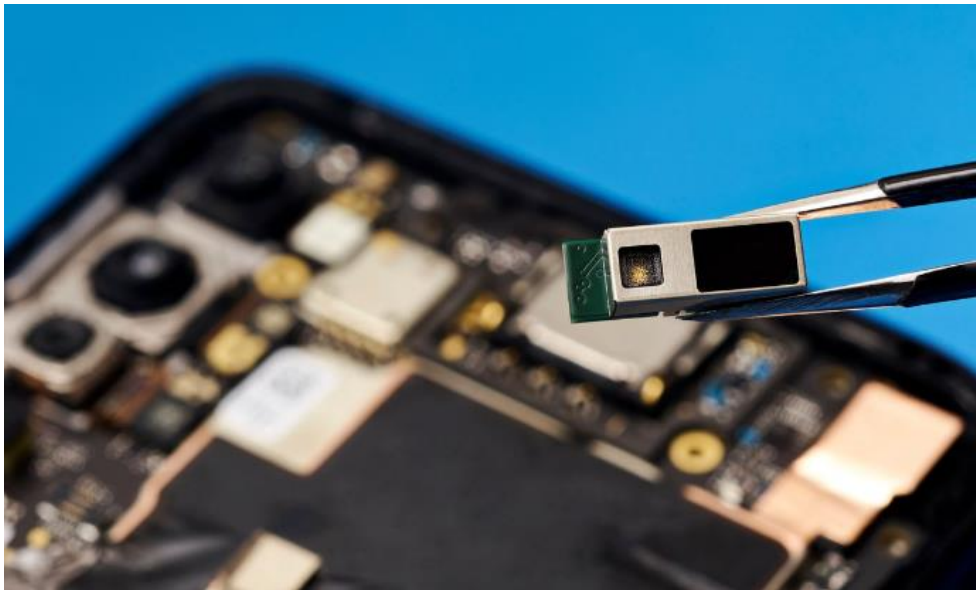


Рисунок 2 - LiFi Antenna ONE (Photo credit to pureLiFi).

Характеристики:

- Швидкість передачі: До 1 Гбіт/с, що відповідає вимогам сучасних офісних мереж.
- Радіус покриття: 6-8 метрів у зоні прямої видимості, достатній для охоплення більшості офісних приміщень.
- Тип підключення: Ethernet через PoE (Power over Ethernet), що спрощує прокладку кабелів.
- Інтеграція: Можливість встановлення у стандартні LED-світильники.

Ці станції обрано через їхню сумісність із сучасними освітлювальними системами, стабільну роботу у закритих приміщеннях та високу швидкість передачі даних, яка значно перевищує можливості традиційних Wi-Fi систем.

2) *Приймачі: PureLiFi USB Dongle* - це приймач, який підключається до ноутбуків або настільних комп'ютерів через USB-порт. Він дозволяє пристроям отримувати дані від базових станцій, забезпечуючи високу швидкість передачі інформації.



Рисунок 3 - USB Dongle (Photo credit to pureLiFi).

Характеристики:

- Тип підключення: Стандартний USB 3.0, який забезпечує сумісність з більшістю сучасних комп'ютерів і ноутбуків.
- Швидкість передачі даних: До 1 Гбіт/с, що дозволяє виконувати завдання з високими вимогами до пропускної здатності.
- Розміри: Компактний форм-фактор, що робить пристрій портативним і зручним у використанні.
- Енергоспоживання: Низьке споживання енергії, що не перевантажує підключені пристрої.

Приймачі PureLiFi USB Dongle забезпечують простоту використання, високу швидкість підключення та мінімальні вимоги до налаштування, що робить їх ідеальними для офісних умов. Дані приймачі мають бути встановлені для кожного з робочих місць.

3) *Маршрутизатор: TP-Link Archer AX90* - цей маршрутизатор відповідає за з'єднання базових станцій із зовнішнім інтернет-з'єднанням. Archer AX90 підтримує високу пропускну здатність і забезпечує стабільність з'єднання навіть при високих навантаженнях.



Рисунок 4 - TP-Link Archer AX90.

Технічні характеристики:

- Пропускна здатність: До 6 Гбіт/с, що гарантує високу продуктивність навіть за пікових навантажень.
- Діапазон частот: Підтримка діапазонів 2,4 ГГц і 5 ГГц, що дозволяє налаштовувати мережу залежно від потреб.
- Підключення: Кілька Gigabit Ethernet портів для підключення комутатора і базових станцій.
- Безпека: Вбудовані інструменти кіберзахисту для захисту від зовнішніх атак.

Маршрутизатор TP-Link Archer AX90 обрано через його здатність підтримувати високу швидкість передачі даних та інтеграцію з мережею Li-Fi. Також забезпечує стабільність зовнішнього інтернет-з'єднання та дозволяє підтримувати високу пропускну здатність для Li-Fi станцій.

4) *Комутатор: Cisco SG350-10* - керує підключенням базових станцій до маршрутизатора, розподіляючи сигнал і забезпечуючи ефективність мережі.



Рисунок 5 - Cisco SG350-10.

Характеристики:

- **Порти:** 10 Gigabit Ethernet із підтримкою PoE, що дозволяє одночасно підключити всі базові станції.
- **Пропускна здатність:** До 20 Гбіт/с (загальна), що забезпечує роботу мережі без затримок.
- **Налаштування:** Можливість пріоритизації трафіку, що дозволяє оптимізувати роботу мережі.

Цей комутатор обрано завдяки його надійності, підтримці PoE та високій продуктивності для забезпечення одночасної роботи всіх базових станцій. Також даний комутатор дозволяє налаштовувати пріоритетність трафіку, що важливо для стабільності роботи мережі.

5) *Кабелі: Cat 6a Ethernet* - Ethernet-кабелі Cat 6a забезпечують високошвидкісне підключення між базовими станціями, комутатором і маршрутизатором.



Рисунок 6 - Cat 6a Ethernet кабель.

Технічні характеристики:

- Швидкість передачі: До 10 Гбіт/с.
- Довговічність: Стійкість до перешкод і зовнішніх впливів.
- Радіус прокладки: До 100 м без втрат сигналу.

Cat 6a кабелі забезпечують надійну передачу даних без затримок, що важливо для стабільної роботи мережі.

Розрахунок кількості базових станцій

Особливістю Li-Fi є необхідність забезпечення прямої видимості між передавачем і приймачем. Це обмеження вплинуло на вибір місць для встановлення базових станцій. Для визначення кількості базових станцій у кожному приміщенні необхідно врахувати їх радіус дії, площу кімнат, вимоги до покриття та забезпечення мінімального перекриття зон для уникнення "мертвих зон".

Відповідно до заявлених виробником характеристик - кожна станція має радіус дії до 6-8 метрів у зоні прямої видимості.

Великий зал (61,52 м²) - кімната розрахована на 10-12 робочих місць, що потребує стабільного підключення до мережі. Одна базова станція здатна обслуговувати 5-10 користувачів залежно від інтенсивності використання мережі. Встановлення однієї станції в центрі приміщення може створити зони зі слабким сигналом у кутах. Тому необхідно забезпечити повне покриття площі без затінок сигналу. Встановлення двох базових станцій у великій кімнаті дозволяє створити зони перекриття, у яких сигнал від обох станцій накладається. Це дає наступні переваги:

- Збільшення стабільності мережі: користувачі, які знаходяться у зоні перекриття, можуть автоматично підключатися до станції з найкращим сигналом.
- Оптимізація швидкості передачі даних для користувачів у центральній частині кімнати.

Кімнати середнього розміру (23,04 м² та 27,28 м²) - для приміщень такого розміру достатньо однієї базової станції в центрі стелі, тому що радіус дії станції охоплює всю площу кімнати. Однієї станції вистачає для обслуговування до 5 користувачів, які можуть працювати одночасно. Розташування у центрі стелі дозволяє уникнути зон зі слабким сигналом.

Малі кабінети (14,08 м², 14,4 м² та 17,36 м²) - у кожному кабінеті передбачається одна базова станція, розташована у центрі приміщення. Площа цих кімнат повністю покривається радіусом дії станції. Для індивідуальних або

малогрупових завдань однієї станції достатньо для стабільного сигналу, що дозволяє працювати без перешкод.

Отже загальна кількість базових станцій

- Великий зал: **2** станції.
- Середні кімнати: **по 1** станції (разом 2 станції).
- Маленькі кімнати: **по 1** станції (разом 4 станції).
- **Загалом: 8** базових станцій.



Рисунок 7 – Місця встановлення базових станцій.

Інфраструктура мережі

Базові станції PureLiFi Light Antenna ONE виконують роль передавачів, які транслюють дані через видимий спектр світла. Ці станції інтегровані у світлодіодні освітлювальні прилади, виконуючи подвійну функцію — освітлення і передачі інформації. Встановлюються у стратегічно важливих точках приміщення (центральна частина кімнат, кути великих залів) для забезпечення повного покриття. Забезпечують передачу даних на приймачі користувачів, використовуючи метод модуляції світла. Підключаються до комутатора за допомогою Ethernet-кабелів із підтримкою PoE, що одночасно забезпечує живлення та передачу даних.

PureLiFi USB Dongle забезпечують прийом сигналу від базових станцій і підключення користувачів до мережі. Використовуються для ноутбуків і комп'ютерів як зовнішні адаптери. Приймають сигнал від базових станцій і конвертують його у цифровий формат для пристрою. Підключаються через стандартний USB-порт, не вимагають спеціальних драйверів чи налаштувань.

Централізоване управління мережею забезпечується маршрутизатором TP-Link Archer AX90 і комутатором Cisco SG350-10. Комутатор підключає базові станції до маршрутизатора. Підтримує технологію Power over Ethernet (PoE) для живлення базових станцій. Забезпечує високу пропускну здатність (до 20 Гбіт/с) і дозволяє керувати трафіком мережі. Надає функції пріоритетизації трафіку для стабільності з'єднання в умовах пікового навантаження. Маршрутизатор виконує функцію шлюзу між внутрішньою мережею Li-Fi та зовнішнім інтернет-з'єднанням. Підтримує кілька діапазонів частот і сучасні стандарти шифрування для безпеки.

Кабельна система побудована на основі стандарту Cat 6a Ethernet, що забезпечує високошвидкісну передачу даних і мінімальні втрати сигналу. Кабелі прокладаються через стелі, стіни або підлогу в залежності від специфіки приміщення. Пропускна здатність до 10 Гбіт/с на відстані до 100 метрів. Стійкість до перешкод і зовнішніх впливів, що забезпечує стабільну роботу мережі.

Для підключення до зовнішньої мережі використовується оптоволоконна лінія зі швидкістю передачі даних до 1 Гбіт/с, що гарантує стабільність і високу продуктивність.

Взаємодія компонентів

Базові станції отримують інтернет-сигнал через комутатор і маршрутизатор. Далі сигнал передається через видимий спектр світла до приймачів Li-Fi користувачів. Комутатор із підтримкою PoE забезпечує електроживлення базових станцій, що скорочує кількість кабелів. Комутатор керує трафіком, направляючи його до станцій з найбільшим навантаженням, що оптимізує роботу мережі.

Безпека мережі

Li-Fi мережі мають менше вразливостей до традиційних атак, таких як перехоплення сигналу або створення фальшивих точок доступу. Неможливість підключення до Li-Fi мережі без фізичної присутності в приміщенні значно знижує ризики атак типу «людина посередині» або фішингових атак через підроблені точки доступу. Оскільки Li-Fi не використовує радіохвилі, мережа захищена від таких загроз, як глушіння сигналу чи атаки на радіочастотні канали.

Li-Fi обладнання підтримує сучасні стандарти шифрування та автентифікації, які використовуються у традиційних мережах. Передача інформації через Li-Fi може бути захищена за допомогою шифрування AES (Advanced Encryption Standard), що забезпечує високий рівень безпеки під час обміну даними між пристроями. Мережа може бути налаштована з використанням паролів і унікальних ключів доступу для кожного користувача.

На відміну від Wi-Fi, сигнал Li-Fi не поширюється у всіх напрямках і не доступний для перехоплення ззовні. Навіть у межах приміщення користувач повинен перебувати в зоні дії базової станції для отримання сигналу. Пристрої в мережі можуть взаємодіяти лише за умови успішної автентифікації.

Оскільки Li-Fi не використовує радіочастотний спектр, він захищений від перешкод, які можуть створювати інші пристрої. Це особливо важливо у середовищах із підвищеними вимогами до безпеки

Створення схеми мережі.

Для побудови Li-Fi мережі оптимальною є зіркоподібна топологія (Star Topology). У зіркоподібній топології всі базові станції Li-Fi (Access Points) підключаються до єдиного центрального комутатора або маршрутизатора, що дозволяє легко керувати мережею та контролювати трафік.

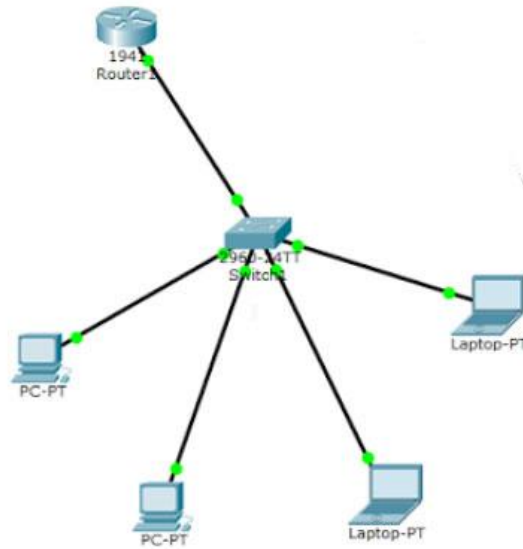


Рисунок 8 – Зіркоподібна мережа.

У разі збільшення кількості користувачів або необхідності покриття додаткових зон достатньо додати нові базові станції Li-Fi до центрального вузла. При відмові одного Li-Fi передавача лише одна зона втрачає доступ, а не вся мережа. Точка доступу Li-Fi надає стабільний зв'язок для користувачів у межах своєї видимості, що є ідеальним для відокремлених кімнат і великих залів.

3.3. Підключення та налаштування мережі

Базові станції Li-Fi монтуються на стелі або у верхній частині стін для забезпечення прямої видимості між станцією та адаптерами користувачів. У великій кімнаті (61,52 м²) дві станції розташовуються так, щоб їх покриття максимально перекривало всю площу. У середніх кімнатах (14–27 м²) станції встановлюються у центрі стелі.

Використовуються Ethernet-кабелі (Cat 6), які підключаються до портів базових станцій та комутатора. На комутаторі слід перевірити статус підключень (активація індикаторів портів). Центральний комутатор підключається до маршрутизатора за допомогою Ethernet-кабелю для забезпечення доступу до інтернету.

Налаштування маршрутизатора.

Потрібно підключити ноутбук до маршрутизатора через Ethernet-кабель. Потім відкрити веб-інтерфейс маршрутизатора за IP-адресою (зазвичай 192.168.88.1 для MikroTik). Та увійти в систему за логіном та паролем (за замовчуванням).

Базові налаштування.

Потрібно замінити логін та пароль для безпеки. Далі налаштувати DHCP-сервера для автоматичної роздачі IP-адрес усім пристроям у мережі. Діапазон IP-адрес: 192.168.1.10 – 192.168.1.100. Потім вказати інтернет-підключення та основний шлюз.

The screenshot displays the 'Network Setup' configuration interface. On the left, a sidebar lists 'Network Setup', 'Router Address', and 'DHCP Server Setting'. The main content area is divided into three sections:

- Network Setup:** Host Name: Cisco00095
- Router Address:** IP Address: 192.168.1.1, Subnet Mask: 255.255.255.0
- DHCP Server Setting:**
 - DHCP Server: Enabled Disabled
 - Start IP Address: 192.168.1.100
 - Maximum Number of Users: 50
 - IP Address Range: 192.168.1.100 to 149
 - Client Lease Time: 0 minutes (0 means one day)
 - Static DNS 1: 0.0.0.0
 - Static DNS 2: 0.0.0.0
 - Static DNS 3: 0.0.0.0
 - WINS: 0.0.0.0

Рисунок 9 – Процес налаштування маршрутизатора.

Налаштування VLAN (опціонально)

Для розділення мережі на сегменти можна створити VLAN для різних відділів підприємства. Це підвищує безпеку та оптимізує роботу мережі.

Конфігурація базових станцій Li-Fi

Налаштування мережевих параметрів

Потрібно Підключити базову станцію до комп'ютера через Ethernet-кабель. Після чого відкриваємо веб-інтерфейс через IP-адресу (вказана у документації, наприклад, 192.168.1.2). В якому потрібно встановити IP-адреси для кожної станції у межах мережі, наприклад:

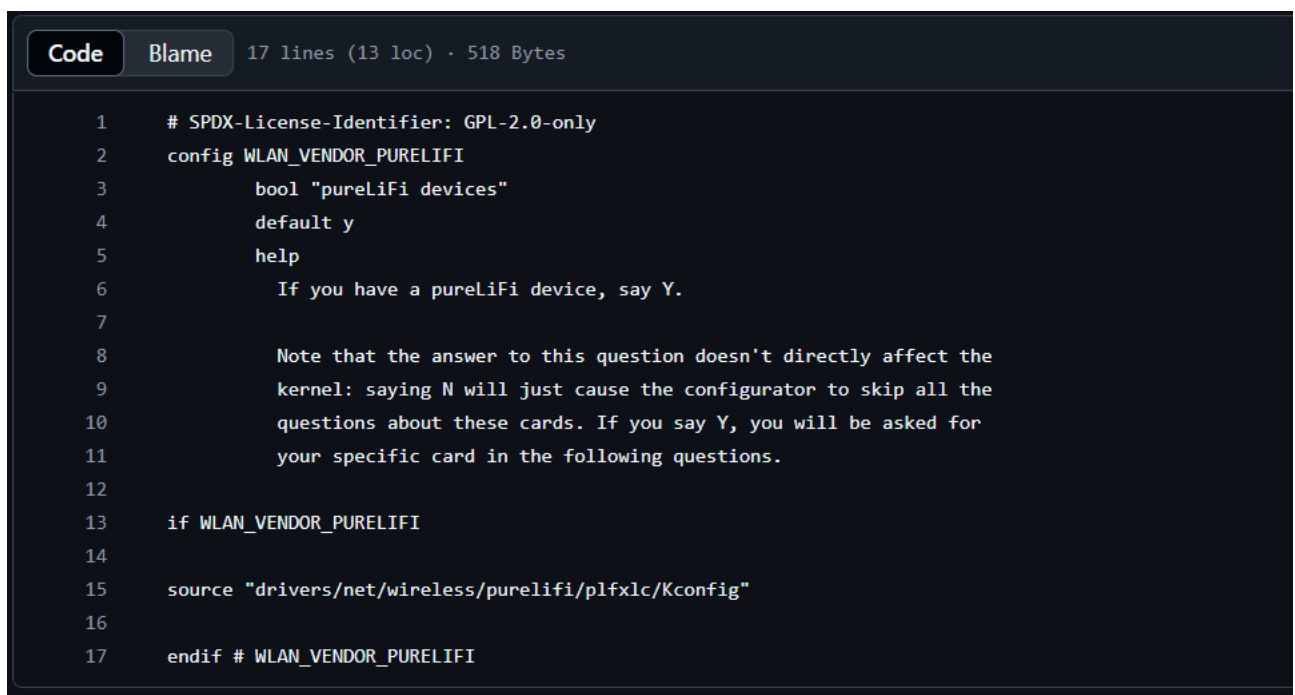
- **Станція 1:** 192.168.1.11

- **Станція 2:** 192.168.1.12
- **Станція 3:** 192.168.1.13
- **Станція 4:** 192.168.1.14
- ...

Вказуємо основний шлюз (IP маршрутизатора — 192.168.1.1). Після чого потрібно впевнитись, що базові станції отримують з'єднання від комутатора (індикатори на портах повинні світитися). Фінальним етапом є встановлення Li-Fi адаптер на ноутбук або ПК користувача для перевірки з'єднання з базовою станцією.

Встановлення Li-Fi адаптерів для користувачів

Li-Fi USB-адаптер підключається до порту USB комп'ютера користувача. Для його роботи потрібно встановити драйвери з наданого програмного забезпечення або завантажити їх з офіційного сайту виробника.



```

Code Blame 17 lines (13 loc) · 518 Bytes
1 # SPDX-License-Identifier: GPL-2.0-only
2 config WLAN_VENDOR_PURELIFI
3     bool "pureLiFi devices"
4     default y
5     help
6     If you have a pureLiFi device, say Y.
7
8     Note that the answer to this question doesn't directly affect the
9     kernel: saying N will just cause the configurator to skip all the
10    questions about these cards. If you say Y, you will be asked for
11    your specific card in the following questions.
12
13    if WLAN_VENDOR_PURELIFI
14
15    source "drivers/net/wireless/purelifi/plfxlc/Kconfig"
16
17    endif # WLAN_VENDOR_PURELIFI

```

Рисунок 10 – Частина програмного коду драйвера.

Для перевірки правильності встановлення у налаштуваннях мережі комп'ютера перевіряємо, що система виявила адаптер і підключилася до базової станції Li-Fi. Після чого потрібно виконати тест швидкості мережі для перевірки пропускної здатності з використанням інструментів, наприклад, Speedtest.

3.4. Тестування мережі.

Тестування мережі відбуватиметься в програмі OptiSystem. Це програмне забезпечення для моделювання та проектування оптичних систем. Воно використовується для аналізу, оптимізації та тестування оптичних телекомунікаційних систем, компонентів і мереж. Програма широко застосовується в дослідженнях, навчанні та розробці комерційних проектів, пов'язаних із сучасними технологіями, такими як Li-Fi, WDM, DWDM, FSO, PON та іншими.

Першим кроком потрібно перенести створену мережу в дану програму та налаштувати її елементи, після чого її можна буде тестувати.

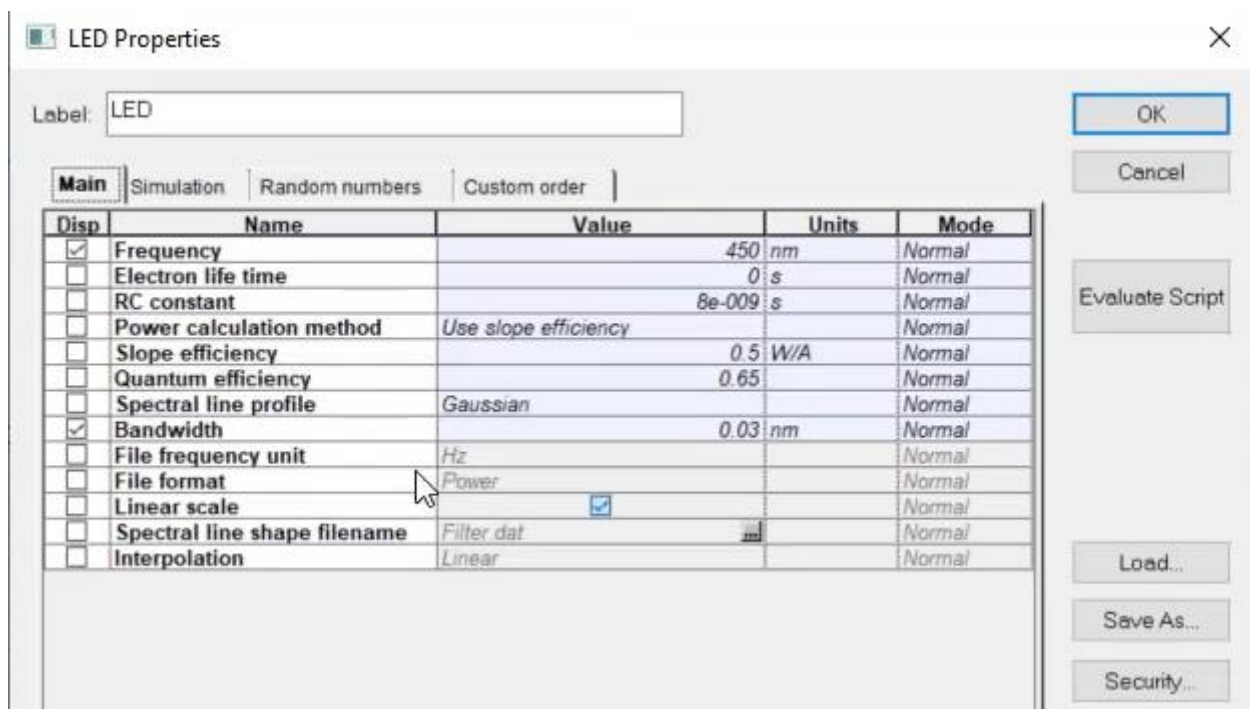


Рисунок 11 – Налаштування лед пристрою.

На зображенні представлено інтерфейс налаштувань LED Properties (властивості світлодіода) у програмному середовищі. Інтерфейс містить таблицю параметрів, які користувач може змінювати для налаштування характеристик світлодіода в моделі або симуляції.

- Frequency (частота): встановлено значення 450 nm (нанометрів), яке відповідає спектральній частоті випромінювання світлодіода.
- Electron life time (час життя електронів): значення дорівнює 0 s.

- RC constant: $8e-09$ s, що є часом RC-константи.
- Power calculation method (метод розрахунку потужності): використовується метод ефективності нахилу.
- Slope efficiency (ефективність нахилу): значення 0.5 W/A (ват на ампер).
- Quantum efficiency (квантова ефективність): 0.65.
- Spectral line profile (профіль спектральної лінії): вибрано профіль Gaussian (Гауссів розподіл).
- Bandwidth (смуга пропускання): встановлено значення 0.03 nm.
- File frequency unit (одиниці частоти файлу): Hz (герци).
- File format (формат файлу): Power.
- Linear scale (лінійна шкала): увімкнена (позначено прапорцем).
- Spectral line shape filename (файл форми спектральної лінії): Filter.dat.
- Interpolation (інтерполяція): Linear (лінійна).

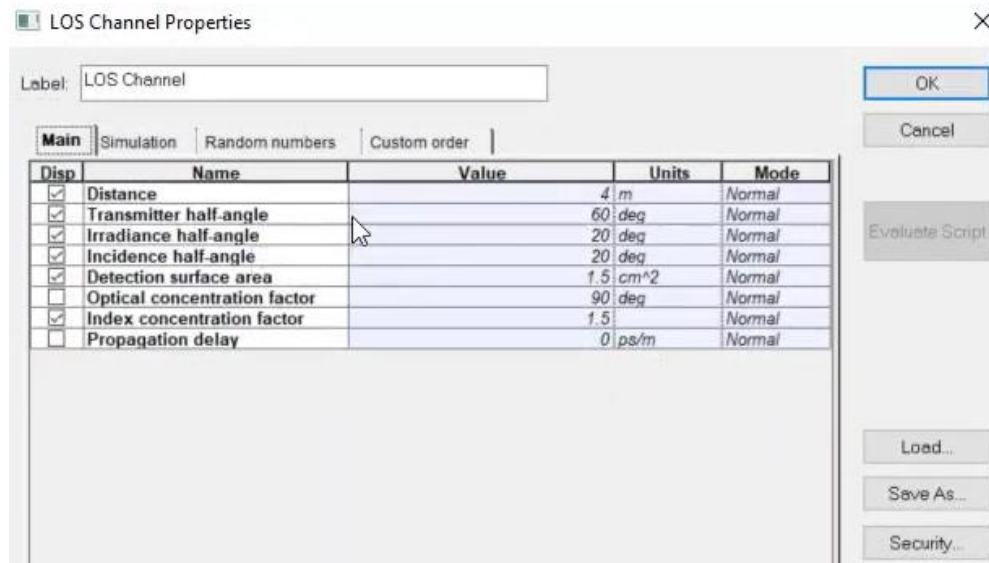


Рисунок 12 – Подальше налаштування.

Також потрібно вказати дистанцію, яка буде між приймачем та передавачем, для більш точного тестування мережі.

Тестування системи передачі даних за допомогою аналізатора BER.

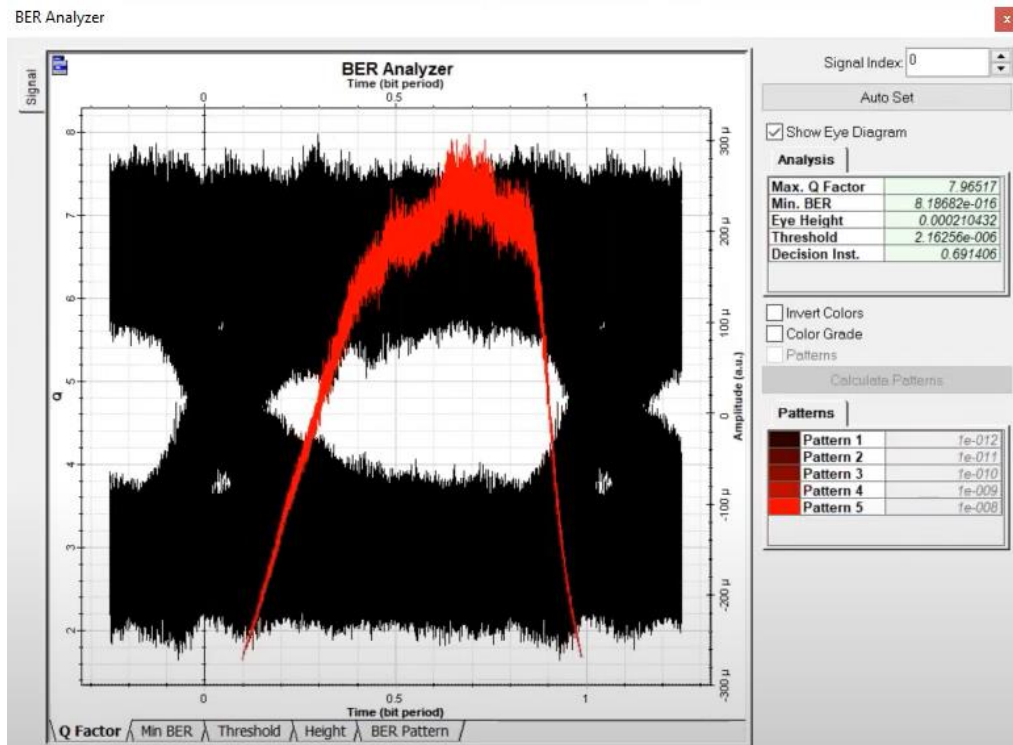


Рисунок 13 – Аналізатора BER.

Діаграма демонструє добре сформоване "око", що свідчить про чітке розмежування між логічними рівнями 0 та 1. Наявність шумів мінімальна, що видно з порівняно невеликих відхилень у вигляді "шумових точок" поза вікном ока. Q Factor — це міра якості сигналу. Чим вищий Q Factor, тим краще сигнал. Значення близьке до 8 свідчить про дуже високий рівень якості передачі даних, де ймовірність помилок є мінімальною. BER визначає частоту виникнення помилок під час передачі даних. Значення на рівні 10^{-16} надзвичайно низьке, що вказує на практично безпомилкову передачу інформації. Червоні ділянки на графіку позначають шум чи місця, де сигнал може мати невеликі викривлення. Однак у цьому випадку їх кількість і вплив незначні, що свідчить про високу стабільність системи.

Результати тестування за графіком свідчать про високу якість системи передачі даних:

- Передача здійснюється з мінімальними втратами та майже без помилок (BER на рівні 10^{-16}).

- Сигнал є стійким до шумів, що підтверджує чітке "вікно ока".
- Високий Q Factor демонструє, що система відповідає стандартам якісної передачі даних і може використовуватися для надійної комунікації в реальних умовах.

Перевірка покриття

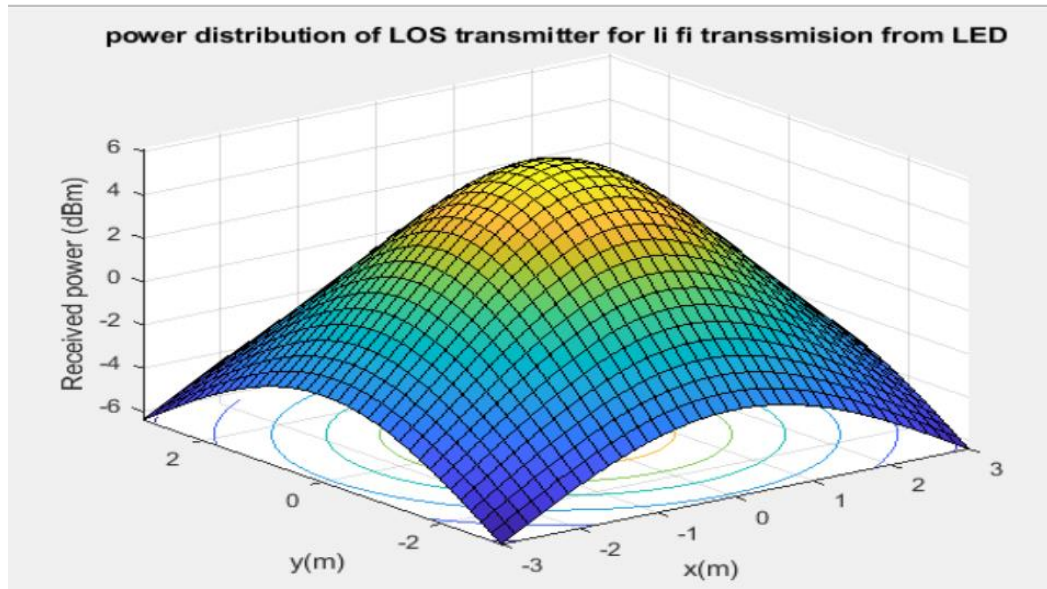


Рисунок 14 – Проекція покриття світла.

Графік демонструє розподіл потужності сигналу в каналі Li-Fi, створений за допомогою програмного інструменту Gnuplot. Він показує тривимірне уявлення рівня інтенсивності світлового сигналу в залежності від просторових координат. Ось X і Y представляють площину, в якій аналізується сигнал, а висота по осі Z відображає потужність світла в кожній точці цієї площини.

У центрі графіка спостерігається найбільша потужність сигналу, що свідчить про оптимальну зону покриття безпосередньо під джерелом світла. Зі збільшенням відстані від центру потужність сигналу поступово знижується, що є природним явищем у системах Li-Fi.

Вплив тіні на якість сигналу.

В ході тестування було досліджено вплив тіні на якість передачі даних.

- Повна тінь (сигнал перекрито повністю): швидкість передачі даних падає до 0 — сигнал відсутній.

- Часткова тінь (інтенсивність світла знижується на 50%): швидкість може зменшитися до 0.5 Гбіт/с або нижче, залежно від налаштувань системи та адаптації модуляції.
- Невелике затінення (10-20% зменшення світла): швидкість передачі даних знизиться незначно, до 0.7-0.8 Гбіт/с, але помилки можуть збільшитися.

Тестування навантаження.

Для тесту навантаження потрібно підключити декілька користувачів одночасно та перевірити стабільність роботи мережі.

При 1 Гбіт/с, ця швидкість є максимальною для одного підключеного пристрою в умовах відсутності перенавантаження. Однак, коли зростає кількість одночасних підключень, пропускну здатність системи розподіляється між усіма пристроями. Це призводить до зниження швидкості передачі даних для кожного пристрою.

- 1 пристрій: 1 Гбіт/с.
- 10 пристроїв: $1 \text{ Гбіт/с} / 10 = 0.1 \text{ Гбіт/с}$ для кожного пристрою.

3.5. Аналіз результатів тестування

У процесі тестування виявлено, що тінь є однією з основних перешкод, що значно знижує якість сигналу в системах Li-Fi. При попаданні тіні на приймач або на шлях передачі сигналу, потужність світла, що досягає приймача, зменшується, що призводить до падіння швидкості передачі даних. Виявлено, що навіть часткове перекриття може знизити ефективність на 30-40%. Це сталося через зменшення інтенсивності світла, що отримується фотодіодом, внаслідок якого знижуються швидкість та точність передачі. Таким чином, для ефективної роботи Li-Fi необхідно мінімізувати кількість потенційних перешкод і забезпечити прямий шлях світлового сигналу.

Тестування покриття виявило, що навіть за умов добре спроектованої мережі Li-Fi існують зони, де сигнал може бути ослаблений. Покриття, яке забезпечує одна точка доступу, може бути недостатнім для великих приміщень або просторів з багатьма перешкодами. У таких випадках, щоб забезпечити

стабільне з'єднання по всій території, необхідно використовувати декілька передавачів, розташованих в оптимальних точках для рівномірного покриття. Це також підтверджує важливість розміщення приймачів і передавачів в таких місцях, де сигнал може проходити без значних перешкод. Моделювання мережі Li-Fi показало, що при оптимізації розміщення передавачів і приймачів можна досягти стабільного покриття та високої швидкості передачі даних в умовах нормального навантаження.

Проектування та дослідження мережі Li-Fi підтвердили важливість оптимізації мережі для забезпечення стабільної та високошвидкісної передачі даних. Ключові фактори, такі як кількість підключених пристроїв, вплив зовнішнього освітлення і тіні, а також розміщення приймачів і передавачів, повинні бути враховані при проектуванні мережі для забезпечення максимального ефекту. Враховуючи можливості адаптації системи до змінних умов, можна значно покращити ефективність Li-Fi мережі, забезпечивши її надійність і високу швидкість передачі даних навіть за умов високого навантаження або фізичних перешкод.

Висновки

Проведене дослідження мережі Li-Fi показало, що ця технологія може забезпечити високу швидкість передачі даних, яка досягає 1 Гбіт/с на один передавач за оптимальних умов. Однак на її ефективність значно впливають фактори, такі як вплив тіні, перевантаження мережі, зовнішнє освітлення та перешкоди. Виявлено, що тінь на шляху сигналу знижує швидкість передачі даних, а на високому навантаженні мережа показує зниження швидкості для кожного пристрою.

Переваги впровадження Li-Fi на підприємстві - Li-Fi може забезпечити значно вищу швидкість порівняно з традиційними технологіями Wi-Fi, до 1 Гбіт/с на користувача. Оскільки сигнал Li-Fi поширюється через світло і не може проходити через стіни, це забезпечує більш високий рівень безпеки в мережі. Li-Fi менш схильний до радіочастотних завад порівняно з Wi-Fi, що робить його корисним в умовах, де існують інші джерела радіообміну.

Недоліки - покриття обмежене областю, на яку потрапляє світловий сигнал, і може бути значно знижене за рахунок перешкод, таких як тіні чи фізичні бар'єри. Залежність від зовнішніх умов: Вплив зовнішнього освітлення, зокрема сонячного, може значно погіршити якість сигналу та швидкість передачі. Вартість обладнання: Для ефективного впровадження Li-Fi необхідне спеціалізоване обладнання, яке може бути дорожчим за традиційні рішення.

Для забезпечення стабільного покриття та високої швидкості передачі даних слід ретельно планувати розміщення передавачів і приймачів, враховуючи можливі перешкоди, такі як меблі чи стіни. Для підвищення стабільності зв'язку в умовах змінних перешкод рекомендується застосовувати адаптивну модуляцію та методи корекції помилок. Li-Fi можна інтегрувати з іншими бездротовими технологіями (наприклад Wi-Fi) для забезпечення безперервного зв'язку та покриття на великій території.

У результаті, впровадження Li-Fi на підприємстві може суттєво покращити швидкість передачі даних та забезпечити високий рівень безпеки, але необхідно врахувати обмеження щодо покриття і вплив зовнішніх умов на якість сигналу.

Список використаних джерел

1. Gnuplot. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.gnuplot.info>
2. Analysis of area data rate with shadowing effects in Li-Fi and RF hybrid network. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/305674994_Analysis_of_area_data_rate_with_shadowing_effects_in_Li-Fi_and_RF_hybrid_network
3. PureLiFi Light Antenna ONE. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.fairbanksmorsedefense.com/hubfs/1008-1123%20FMT%20pureLiFi%20Light%20Antenna%20ONE%20Fact%20Sheet.pdf?hsLang=en>
4. Pure Li-Fi driver. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://github.com/torvalds/linux/blob/master/drivers/net/wireless/purelifi/Kconfig>
5. З'ясування можливостей й областей застосування технічних рішень віддаленого управління виробничими об'єктами. / О.В. Шефер, О.Г. Дрючко, С.С. Удовик // Збірник наукових праць за матеріалами X Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика», 20 грудня, 2024 р. – С. 24-27.
6. Light Anntena ONE pureLiFi. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.taiheiboeki.co.jp/en/optics/lifi/purelifi/light-anntena-one/>
7. Simulation of Li-Fi. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=XTOGFMxVi0w&t=140s>
8. Hyperion technologies. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.hyperiontechs.com/product-category/devtools/lifi-devtools/>
9. DeepL. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.deepl.com/uk/translator#en/uk/DeepL>
10. Дистанційна освіта. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dist.nupp.edu.ua/login/index.php?loginredirect=1>

Додаток А

Розділ 2 (англійська версія)

2. Comparison of Li-Fi and Wi-Fi technologies

2.1. Wi-Fi and Li-Fi specifications

Wi-Fi and Li-Fi technologies have become key elements of the modern wireless communication infrastructure, providing data transmission without the use of a cable connection. Despite the fact that both technologies perform a similar function, they are based on different principles of operation, which leads to their unique technical features, advantages and limitations.

Wi-Fi, or Wireless Fidelity, uses radio waves to transfer data between devices. This technology has revolutionized Internet access and local area networks, becoming the standard for home, office and industrial use. Thanks to the constant development of standards, Wi-Fi is able to meet the growing demands for speed, bandwidth and reliability. It is distinguished by its versatility, wide range and compatibility with most modern devices. However, the use of the radio frequency spectrum also has its limitations, such as susceptibility to interference and interference.

Li-Fi, or Light Fidelity, is an emerging technology that uses pulses of light to transmit data. Unlike Wi-Fi, this technology is based on the visible spectrum of light, making it a promising alternative in environments where radio waves may be undesirable or inefficient. Li-Fi provides extremely high data transfer speeds, a much wider range of available frequencies, and a higher level of security because the signal is limited to the area of visibility. At the same time, this technology also has certain limitations due to the need for line-of-sight between the transmitter and receiver.

Analyzing the technical characteristics of Wi-Fi and Li-Fi allows you to better understand their potential, features, and limitations. This is a key aspect for choosing the most appropriate technology depending on the conditions and needs of a particular environment. Consideration of their characteristics allows us to assess which technology is more effective for certain tasks, as well as to identify opportunities for their complementarity in hybrid systems.

Wi-Fi: Technology characteristics

Wi-Fi (Wireless Fidelity) is a wireless communication standard that provides stable operation of local networks and access to the Internet. Its technical characteristics are constantly improving due to the development of new standards that expand the capabilities of the technology.

Frequency range: Wi-Fi operates on the radio frequency spectrum with the main bands being 2.4 GHz, 5 GHz and, in newer versions, 6 GHz.

- 2.4 GHz: provides a longer range and signal penetration through obstacles (walls, furniture). However, this band is often overloaded due to the large number of devices that use it.
- 5 GHz: has higher bandwidth and speed, but limited range due to shorter waves.
- 6 GHz: a new band in the Wi-Fi 6E standard, provides minimal interference and high transmission speed, although the signal penetrates obstacles much worse.

Channel width: Wi-Fi supports 20, 40, 80, or 160 MHz channels. Wider channel widths increase throughput, but also increase the risk of interference.

Wi-Fi standards: The development of Wi-Fi has led to the emergence of several standards, each with specific technical capabilities:

- Wi-Fi 5 (802.11ac): up to 3.5 Gbps, 5 GHz band.
- Wi-Fi 4 (802.11n): up to 600 Mbps, 2.4 and 5 GHz bands.
- Wi-Fi 6 (802.11ax): Up to 9.6 Gbps, 2.4, 5 and 6 GHz bands.

Range: Wi-Fi coverage depends on the frequency range, transmitter power, and physical environment. Indoors, the range is usually up to 50 meters, and outdoors, up to 100 meters.

How it works: Wi-Fi technology is based on the use of radio waves for data transmission. The signal is modulated using methods such as OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), which reduce the impact of interference and improve transmission quality

Power consumption: Wi-Fi consumes a significant amount of power, especially during active data transfers. However, modern standards, such as Wi-Fi 6, optimize power consumption with Target Wake Time, which allows devices to wake up only when they need to.

Li-Fi: Technology characteristics

Li-Fi (Light Fidelity) uses the visible light spectrum to transmit data. It is a new technology that offers an alternative to Wi-Fi in environments where radio waves may be inefficient or undesirable.

Frequency range: Li-Fi operates within the visible light spectrum (400-800 THz), as well as in the infrared and ultraviolet ranges. Due to this, the data spectrum is much wider than the radio frequency spectrum.

Light transmitters and receivers: The main element of Li-Fi is light emitting diodes (LEDs), which provide both lighting and data transmission. To receive the signal, photodiodes are used, which convert light pulses into digital information.

Light signal modulation: fast pulses of light, invisible to the human eye, are used to transmit data. The main modulation methods include On-Off Keying (OOK) and Pulse Position Modulation (PPM).

Range of action: Li-Fi is limited to line-of-sight. On average, the range is up to 10 meters. To cover larger areas, you need to install additional LED transmitters.

How it works: Li-Fi transmits data through changes in light intensity that are recognized by receivers and converted into digital signals. This ensures high transmission accuracy even in difficult conditions.

Energy consumption: the use of LED lamps allows you to combine lighting with data transmission, which significantly reduces energy costs.

Comparison of Wi-Fi and Li-Fi

Table 1

Features	Wi-Fi	Li-Fi
Frequency range	2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz	400-800 THz
Transfer rate	Up to 9.6 Gbps	Up to 224 Gbps
Range of operation	Up to 100 m	Up to 10 m

Bandwidth capacity	Limited by the radio frequency spectrum	High due to wide spectrum
Power consumption	Medium	Low (use of LED)
Security	High due to encryption	High due to light isolation
Resistance to interference	Susceptibility to interference	Not affected by radio interference

2.2. Data transfer rate and bandwidth

Data transfer rate and bandwidth are key parameters that determine the efficiency of wireless networks and the ability to use them for various tasks. Although Wi-Fi and Li-Fi technologies perform similar functions, they differ significantly in these characteristics due to the use of different physical principles of information transmission. Analyzing these indicators allows us to understand which technology is best suited for specific needs.

Wi-Fi data transfer speed

Wi-Fi is based on the transmission of data via radio waves. The speed of data transmission in this technology directly depends on the standard used. Below are the key Wi-Fi standards and their characteristics:

6) 802.11b (1999 year):

- Maximum speed: up to 11 Mbps.
- Band: 2.4 GHz.
- Although this standard was revolutionary at the time of its introduction, its bandwidth no longer meets modern requirements, which limits its use.

7) 802.11g (2003 year):

- Maximum speed: up to 54 Mbps.
- Band: 2.4 GHz.
- Due to higher transmission speeds, this standard was a significant step forward, but it has also become outdated over time.

8) 802.11n (Wi-Fi 4):

- Maximum speed: up to 600 Mbps.
- Bands: 2.4 and 5 GHz.
- This standard has provided significant speed improvements through the introduction of MIMO (Multiple Input Multiple Output).

9) 802.11ac (Wi-Fi 5):

- Maximum speed: up to 3.5 Gbps.
- Band: 5 GHz.
- Higher speeds make this standard popular for streaming high quality video and online gaming.

10) 802.11ax (Wi-Fi 6):

- Maximum speed: up to 9.6 Gbps.
- Bands: 2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz.
- The latest standard that supports more simultaneous connections and ensures minimal transmission delays.

Li-Fi data transfer rate

Li-Fi uses the visible light spectrum, which provides a much wider frequency range than Wi-Fi. As a result, the technology has the potential to achieve much higher data transfer rates.

Theoretical speed: In laboratory conditions, the data transfer rate via Li-Fi reached 224 Gbps, which is significantly higher than Wi-Fi. This result is achieved through the use of a wide range of visible light frequencies.

Actual conditions of use: In practical conditions, Li-Fi speeds can vary from several hundred Mbps to several Gbps depending on the quality of lighting, distance to the receiver, and environmental characteristics.

Factors affecting speed:

- Light intensity: stronger lighting provides better signal quality.
- Distance: the transmission rate decreases with distance from the light source.
- Interference: Shadows or opaque objects can block the signal and reduce data transfer speeds.

Wi-Fi bandwidth

Wi-Fi bandwidth is determined by several factors, including channel width, number of data streams, and support for MIMO technologies.

Channel width: Wi-Fi uses channels that are 20, 40, 80, or 160 MHz wide. The wider the channel, the more data can be transmitted at a time. However, using wide channels can cause interference with other networks.

MIMO technology: Modern standards, such as Wi-Fi 5 and Wi-Fi 6, support the use of multiple antennas for transmitting and receiving data. This allows for higher throughput, as each antenna can transmit a separate data stream.

Number of simultaneous connections: Wi-Fi 6 is able to support more devices in the network without significantly reducing the transmission speed. This is achieved through the use of OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access).

Li-Fi bandwidth

Li-Fi has a huge potential in terms of bandwidth due to the use of a wide range of visible light.

Spectrum width: The visible light spectrum is thousands of times wider than the radio frequency spectrum, providing greater bandwidth.

Simultaneous connections: since each LED transmitter can operate as a separate node, Li-Fi can support a large number of simultaneous connections without compromising data quality.

Environmental influences: Li-Fi throughput may vary depending on light levels and environmental obstacles such as dust, shadows, or material transparency.

Comparison of Wi-Fi and Li-Fi data rates and bandwidth

Table 2

Parameter	Wi-Fi	Li-Fi
Maximum speed	Up to 9.6 Gbps	Up to 224 Gbps

Real speed	100 Mbps - several Gbps	Hundreds of Mbps - several Gbps
Bandwidth capacity	Limited by the radio frequency spectrum	High due to wide spectrum
Impact of interference	Interference from other networks	Dependence on light visibility
Number of connections	High due to OFDMA	Very high in some areas

Wi-Fi and Li-Fi offer different approaches to data transmission, and each technology has its own advantages depending on the environment. Wi-Fi provides sufficient speed and bandwidth for everyday use, especially in large rooms with many obstacles. Li-Fi, on the other hand, has significant potential in environments that require high data transfer speeds, security, and the absence of radio interference. Both technologies can be used as a complement to each other, creating hybrid communication systems that best meet the needs of the modern user.

2.3. Data transmission security

Wi-Fi characteristics.

Encryption methods in Wi-Fi

Encryption is the primary means of protecting data on Wi-Fi networks. Over the years, several security protocols have been developed, each with its own advantages and disadvantages.

WEP (Wired Equivalent Privacy): This is the first encryption standard developed for Wi-Fi. It uses static keys to encode transmitted data. The main disadvantages of WEP are:

- Low level of protection: static keys are easy to crack, even with simple tools.
- Interception vulnerability: due to weak encryption, attackers can intercept traffic and recover keys.

WPA (Wi-Fi Protected Access): this protocol replaced WEP and includes dynamic encryption keys. Its main advantages are:

- Using TKIP (Temporal Key Integrity Protocol), which regularly changes encryption keys.
- Improved resistance to data interception.

However, WPA also has certain drawbacks, including vulnerability to attacks through outdated hardware.

WPA2: This is an advanced encryption standard that has become the main standard for modern networks. Its key features are:

- Use of AES (Advanced Encryption Standard), which provides a high level of protection.
- Compatible with most devices.

However, even WPA2 can be vulnerable to KRACK (Key Reinstallation Attacks) attacks if devices are not updated to the latest software versions.

WPA3: the latest protocol that provides a significantly higher level of security:

- Protection against brute-force attacks: WPA3 limits the number of password attempts, making it impossible for brute-force attacks to take place.
- Personal Mode: provides individual encryption for each user on the network.
- Protecting open networks: even in open Wi-Fi networks, a basic level of encryption is provided.

Authentication methods

Authentication is another important layer of security for Wi-Fi networks. There are various methods to ensure that only authorized users have access to the network.

Passwords: the most common method to protect your network from unauthorized access. However, the effectiveness of this method depends on the complexity of the password.

Certificate authentication: used in corporate networks. The user must provide a digital certificate that confirms their right to connect to the network.

Two-factor authentication (2FA): This method adds an extra layer of protection by requiring a one-time code that is sent to the user's mobile device.

Wi-Fi vulnerabilities

Despite the availability of security protocols, Wi-Fi networks remain vulnerable to various types of attacks:

Traffic interception: Attackers can use special programs to monitor the network and intercept unencrypted data, such as logins, passwords, or messages.

Rogue Access Point attacks: An attacker creates a fake access point with the same name as a legitimate network. Users connect to it, and their traffic is monitored by the attacker.

Brute-force attacks: automatic password guessing to gain access to secure networks, especially if the passwords are simple or short.

Denial of Service (DOS) attacks: overloading an access point with a large number of requests, making it unavailable to users.

Wi-Fi networks provide a high level of flexibility and ease of use, but their security remains dependent on the protocols used, network settings, and user awareness. The WPA2 and WPA3 protocols provide a state-of-the-art level of security, but their effective use requires proper network configuration and additional security measures. Even with all the improvements, Wi-Fi is still vulnerable to certain types of attacks, which requires constant monitoring and updating of security systems.

Data transmission security: Li-Fi.

Li-Fi, due to its physical characteristics, provides a new level of data security. Since this technology uses the light spectrum for communication rather than radio waves, it has natural advantages in protecting information. However, like any technology, Li-Fi also has its own vulnerabilities that need to be taken into account.

Physical signal isolation: The light signal used in Li-Fi does not pass through walls and other opaque objects. This limits the signal to the physical boundaries of the room where the transmitter is installed.

- **Benefit:** Makes it much more difficult for intruders to intercept data outside the premises.

- Practical application: Ideal for offices, conference rooms, banks and other environments where unauthorized access to information is required.

Protection against radio interference: Since Li-Fi operates in the visible spectrum, it is completely independent of radio frequency interference. This makes the technology reliable in high-density wireless environments or in environments where radio interference is a serious problem.

No signal beyond line of sight: Li-Fi signal is transmitted only in the line of sight between the LED transmitter and the photodiode receiver. This prevents unauthorized persons from accidentally connecting to the network.

Li-Fi vulnerabilities

Although Li-Fi has a high level of security, there are certain potential threats that can be exploited by attackers:

Physical access to the premises: if an attacker has access to the room where the Li-Fi transmitter is located, they can access the network.

- It is possible to solve the problem by installing additional physical security measures, such as access control or video surveillance.

Light interference: Bright natural light, artificial light sources, or objects that cast shadows can reduce signal quality and cause problems with data transmission.

- This can be solved by optimizing the location of the transmitters and adjusting the system to work in variable lighting conditions.

Light source substitution: in some cases, an attacker can replace the LED transmitter with a device that records or modifies data.

- It is possible to solve the problem by regular monitoring and inspection of equipment.

Sensitivity to dust and environmental transparency: dust or contamination of surfaces through which light passes can affect signal quality.

Methods of protecting Li-Fi networks

Data encryption: Although the physical isolation of Li-Fi reduces the need for sophisticated encryption, modern encryption methods such as AES should still be used in mission-critical environments.

Physical access control: Installing access control systems to the premises where the Li-Fi network is operating is an important measure to protect against intruders.

Lighting optimization: adjusting the intensity and location of LEDs to minimize interference from external light sources.

Integration with other technologies: Li-Fi can be complemented by other technologies, such as Wi-Fi, to ensure reliable communication in situations where signal quality is reduced.

Comparison of Wi-Fi and Li-Fi security

Table 3

Characteristics	Wi-Fi	Li-Fi
Signal penetration	The signal passes through walls and other obstacles, which allows you to work in different rooms, but increases the risk of unauthorized access.	The signal is limited to the line of sight, does not pass through walls, which ensures high physical security.
Vulnerability to interception	High, especially in unencrypted networks or networks with outdated protocols (WEP).	Low, as interception is possible only within the physical range of the signal.
Data encryption	A high level of encryption is available in modern protocols (WPA3, AES), but depends on user settings.	It is possible to use standard encryption algorithms, but due to physical isolation, this is not always necessary.

Sensitivity to interference	The signal may be subject to radio interference from other networks, electronic devices, and radio frequency equipment.	Sensitive to interference from shadows, objects blocking light, and intense ambient light.
Physical security	Requires additional measures, such as access control to equipment and network configuration.	Provided by natural signal limitation within приміщення, де встановлений передавач.
Characteristics	Wi-Fi	Li-Fi
Environmental impact	It can work in any conditions if there is no strong radio interference.	Requires a stable light level and no physical barriers between the transmitter and receiver.
Risk of unauthorized access	High in open networks (especially in public Wi-Fi), but decreases due to modern encryption methods.	Low, as attackers must be physically located within the signal's range
Availability for attacks (brute force, Rogue Access Point)	High due to the prevalence of Wi-Fi and the large number of available hacking tools.	Very low, as the physical isolation of the signal makes it much more difficult to conduct attacks.
The need for additional security measures	Modern protocols, complex passwords, VPNs, hardware upgrades, and network monitoring are required.	We recommend controlling access to premises, monitoring equipment, and optimizing the location of transmitters.
Areas of application	General purpose: homes, offices, public places.	High level of security: banks, hospitals, government agencies.
Energy consumption	Depends on the activity of devices, high costs during heavy network load.	Low due to the use of LEDs that combine lighting and data transmission functions.

2.4. Opportunities and limitations in different environments

Wi-Fi and Li-Fi offer different capabilities depending on the environment. The choice between the two technologies depends largely on the type of environment, signal characteristics, and specific user needs. This section discusses how both technologies work in different environments, as well as their limitations.

Wi-Fi: Features and limitations

Wi-Fi, which uses radio waves, is a versatile technology for creating wireless networks. Its flexibility allows it to be used in a wide range of environments, from homes to large industrial facilities.

Wi-Fi features:

- Operation over long distances: Wi-Fi has a range of up to 50 meters indoors and up to 100 meters outdoors. This makes it suitable for covering large areas without using a large number of access points.
- Support for multiple devices: Modern Wi-Fi standards such as Wi-Fi 6 provide stable connectivity for dozens of devices at once, which is important for offices, conferences, and home networks.
- Signal penetration through obstacles: Wi-Fi radio waves can pass through walls, furniture, and other objects, allowing you to maintain a stable connection even in multi-room buildings.
- Flexibility in settings: The technology allows you to create different types of networks (infrastructure, Ad-hoc, Mesh), adapting them to the needs of a specific environment.

Wi-Fi limitations:

- Radio interference: In high-density wireless environments, such as apartment buildings, interference can occur due to congestion of the radio frequency spectrum.
- Reduced signal quality due to interference: Thick walls, metal structures, or devices that generate radio noise (microwave ovens, radio equipment) can significantly reduce data transfer speeds.

- Vulnerability to attacks: In open or poorly secured networks, there is a risk of unauthorized access, traffic interception, or the creation of fake access points.

Li-Fi: Opportunities and limitations

Li-Fi, using the visible spectrum of light, offers unique opportunities, but at the same time has limitations due to the physical properties of the light signal.

Li-Fi capabilities:

- High data transfer rate: Thanks to the wide spectrum of visible light, Li-Fi delivers data rates of up to 224 Gbps in the laboratory, far exceeding the capabilities of Wi-Fi.
- Transmission security: The Li-Fi signal is limited to the line of sight, making it impossible to intercept outside the room.
- No radio interference: Li-Fi is neither affected by nor generates radio noise, which makes it possible to use the technology in environments where radio waves may be undesirable (for example, in hospitals or airplanes).
- Energy efficiency: The use of LED lamps allows you to combine lighting and data transmission functions, reducing energy costs.

Limitations of Li-Fi:

- Limited range: The range of the Li-Fi signal is usually up to 10 meters and depends on the light intensity.
- Dependence on line of sight: The light signal does not pass through walls or other opaque obstacles. This limits the use of the technology in multi-room buildings without additional transmitters.
- Vulnerability to light interference: Bright natural light, shadows, or dirt can reduce signal quality or block data transmission altogether.
- Cost of implementation: Integrating Li-Fi into an existing infrastructure requires special transmitters and receivers, which can increase initial costs.

Wi-Fi and Li-Fi have their own unique capabilities and limitations that determine their suitability for different environments. Wi-Fi remains the most versatile solution for general use due to its long range and ability to work through walls. Li-Fi, on the other hand, provides a high level of security, no radio

interference, and exceptional data rates, making it ideal for specific applications such as healthcare facilities or areas with high privacy requirements. Both technologies can effectively complement each other to create hybrid communication systems that maximize their benefits.

Environments where Wi-Fi and Li-Fi are used

Table 4

Environment	Wi-Fi: Features and limitations	Li-Fi: Opportunities and limitations
Residential premises	Provides stable coverage in apartments and houses, but may suffer from radio interference in apartment buildings.	Requires additional transmitters to be installed in each room due to the limited range.
Offices and business centers	Works well in large rooms, but may require additional access points to cover the entire area.	Suitable for enclosed spaces with high security requirements, but requires special placement of transmitters.
Hospitals and medical institutions	Radio waves can interfere with the operation of medical equipment.	Li-Fi does not create radio interference and ensures secure data transmission.
Industrial objects	May be susceptible to electromagnetic interference from equipment.	Excellent for enclosed areas without electromagnetic noise, but sensitive to dust.
Transport (aviation, metro)	Used in airplanes and trains, but needs careful optimization to avoid radio interference.	Suitable for aircraft due to no effect on aviation instruments, but difficult to use in variable lighting conditions.

2.5. Conclusions

Analysis of technical characteristics, data transfer speed, security and possibilities of using Wi-Fi and Li-Fi allows to evaluate the advantages and disadvantages of each of these technologies, as well as their suitability for use in various environments.

Wi-Fi, as an established technology, provides a wide range, supports numerous connections, and has high flexibility in settings. Modern standards such as Wi-Fi 6 significantly increase bandwidth and reduce latency, making this technology ideal for residential, office, public and industrial applications. However, Wi-Fi remains vulnerable to radio interference and requires comprehensive measures to ensure security, especially in open networks.

Li-Fi, in turn, is an innovative technology that uses visible light to transmit data, demonstrating high speed, security and the absence of radio interference. With physical line-of-sight signal limitations, Li-Fi provides inherent security, making it ideal for environments with high security requirements, such as healthcare facilities, financial organizations or research centers. However, its range limitations and light dependence require careful network planning and additional transmitters to ensure full coverage.

A comparison of these two technologies shows their complementarity. Wi-Fi is better suited for general purpose applications where wide range and high scalability are required. Li-Fi is a promising solution for specialized environments with increased requirements for privacy, security and data transfer speed.

Додаток Б

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ
КОНДРАТЮКА»

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

за матеріалами X Всеукраїнської науково-практичної конференції

«ЕЛЕКТРОННІ ТА МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ:
ТЕОРІЯ, ІННОВАЦІЇ, ПРАКТИКА»

20 грудня 2024 року



Полтава 2024

УДК 004.89 + 681.51

Збірник наукових праць за матеріалами X Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика», 20 грудня, 2024 р. / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Редколегія: О.В. Шефер (головний редактор) та ін. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2024. – 124 с.

У збірнику представлені результати наукових досліджень та розробок в області сучасних електромеханічних систем та автоматизації, електричних машин і апаратів, моделювання та методів оптимізації, енергозбереження в електромеханічних системах, управління складними технічними системами, проблем аварійності та діагностики в електромеханічних системах та електричних машинах, інформаційно-комунікаційних технологіях та засобах управління. Призначений для наукових й інженерно-технічних працівників, аспірантів і магістрів.

Матеріали відтворено з авторських оригіналів та рекомендовано до друку IX Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика». Редакція не обов'язково поділяє думку автора і не відповідає за фактичні помилки, яких він припустився.

Відповідальний за випуск - д.т.н., професор О.В. Шефер.

Редакційна колегія:

О.В. Шефер – головний редактор, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Н.В. Єрмілова – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

С.Г. Кислиця – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Б.Р. Боряк – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

В.О. Пантелєєв ІНТЕГРОВАНІЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ВНУТРІШНІХ ІНЦИДЕНТІВ.....	35
С.В. Індик, В.В. Панич ПРОЄКТУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ.....	37
М.В. Обілець, Р.В. Захарченко ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВОСТОРОННІХ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ НА ПРАКТИЧНОМУ ДОСЛІДІ.....	39
А.В. Марчук СЕРВІСИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ З ОБ'ЄКТНИМИ ХМАРНИМИ СХОВИЩАМИ.....	41
О.С. Марченко, В.М. Галай РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕВАТОРОМ.....	43
О.В. Шефер, В.І. Романенко ПОБУДОВА СЕНСОРНОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВИТОКУ ГАЗУ З ГАЗОПРОВОДУ.....	45
І.М. Дюдюк, О.С. Фомін УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ З ПІДВИЩЕНОЮ ЗАВАДОСТІЙКІСТЮ.....	47
О.В. Шефер, С.В. Мигаль ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ 5G ТА 6G В КОНТЕКСТІ СПОЖИВЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	49
О.Г. Дрючко, О.В. Сухорєбрий, О.О. Куденко ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ ТРАКТУ OTN DWDM.....	51
С.Г. Кислиця, С.І. Демус РОЗВИТОК МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ МАЙБУТНЬОГО ПОКОЛІННЯ.....	54
О.В. Шефер, І.П. Плюйко, Я.О. Зоць ПРИНЦИПИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИСТУ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ВІД ЗОВНІШНІХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВПЛИВІВ.....	56
С.Г. Кислиця, Н.М. Слєпченко ЗАСОБИ АНАЛІЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ.....	58
С.С. Удовик ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ Li-Fi ДЛЯ ПОБУДОВИ БЕЗПРОВОДОВОЇ МЕРЕЖІ ПІДПРИЄМСТВА.....	60

УДК 621.391

С.С. Удовик, магістрант

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ Li-Fi ДЛЯ ПОБУДОВИ БЕЗПРОВОДОВОЇ МЕРЕЖІ ПІДПРИЄМСТВА

Li-Fi — це інноваційна технологія бездротової передачі даних, яка використовує видиме світло для зв'язку між пристроями. Основою її роботи є світлодіоди, які передають дані за допомогою високочастотних імпульсів, що залишаються непомітними для людського ока. Ця технологія відзначається низкою переваг, таких як висока швидкість передачі даних, відсутність радіоперешкод та природна захищеність сигналу. Однак вона має й певні обмеження, зокрема залежність від прямої видимості та інтенсивності світла. Завдяки своїм унікальним характеристикам Li-Fi знаходить застосування у сферах, де радіочастотний зв'язок обмежений або небажаний, таких як медицина, авіація та наукові дослідження.

Порівняння Li-Fi та Wi-Fi показує, що обидві технології мають свої сильні сторони, залежно від умов використання. Wi-Fi забезпечує широкий радіус дії та стабільне з'єднання через радіохвилі, тоді як Li-Fi пропонує значно вищу швидкість передачі даних та природний захист від перехоплення сигналу. Однак Wi-Fi залишається вразливим до радіоперешкод та потребує додаткових заходів для забезпечення безпеки, тоді як Li-Fi обмежується зоною прямої видимості та залежить від умов освітлення. Ці особливості роблять Wi-Fi універсальним для широкого спектра середовищ, тоді як Li-Fi більше підходить для зон із підвищеними вимогами до безпеки й конфіденційності.

Практичне дослідження передбачало проектування мережі Li-Fi для підприємства, яке потребує високої швидкості, надійності та безпеки передачі даних. Розробка мережі на основі Li-Fi для підприємства передбачала врахування високих вимог до швидкості передачі даних, безпеки інформації та надійності з'єднання. У межах проекту було розроблено схему розташування світлодіодних передавачів для забезпечення рівномірного покриття у робочих приміщеннях. Особливу увагу приділено забезпеченню прямої видимості між передавачами й приймачами, оскільки ця характеристика є критично важливою для ефективної роботи Li-Fi. Теоретичне тестування моделі показало, що мережа Li-Fi забезпечує високу швидкість передачі даних і природну захищеність, хоча її ефективність знижується за наявності фізичних перешкод. Аналіз результатів підтвердив доцільність використання Li-Fi у середовищах із високими вимогами до безпеки, за умови інтеграції з іншими технологіями для оптимального покриття.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Gado M. Li-Fi Technology for Indoor Access: Li-Fi / Mohamed Gado, Doaa Abd El-Moghith. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 200 с..*
2. *Dimitrov S., Haas H. Principles of LED Light Communications: Towards Networked Li-Fi / Svilen Dimitrov, Harald Haas. – Cambridge University Press, 2015. – 224 pages..*
3. *Benslama M., Mokhtari H. Compressed Sensing in Li-Fi and Wi-Fi Networks / Malek Benslama, Hatem Mokhtari. – ISTE Press - Elsevier, 2017. – 284 pages.*

RESEARCHING LI-FI TECHNOLOGY FOR BUILDING A WIRELESS ENTERPRISE NETWORK

S.S.Udovyk, Master's Student

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

Додаток В

Презентаційний матеріал

Дослідження технології Li-Fi для побудови безпроводової мережі підприємства

Виконав: С.С. Удовик, студент 401ТТ.

Керівник: М.А. Штомпель, професор.

2

Актуальність роботи. Li-Fi актуальна завдяки високій швидкості, безпеці та зниженню навантаження на Wi-Fi. Це перспективна технологія для підприємств, що потребують швидкої та стабільної передачі даних.

Мета роботи. Дослідити технологію Li-Fi, її принципи роботи і можливості використання в якості основи для побудови бездротової мережі на підприємствах.

Методи дослідження. Аналіз літературних джерел, порівняння технологій, а також моделювання мережі для оцінки її ефективності.



Етапи у виконанні роботи

3

Створення мережі

Проектування та створення мережі, на основі наявного обладнання.

Тестування мережі

Проведення тестів зібраної мережі, для перевірки її працездатності



Вибір обладнання

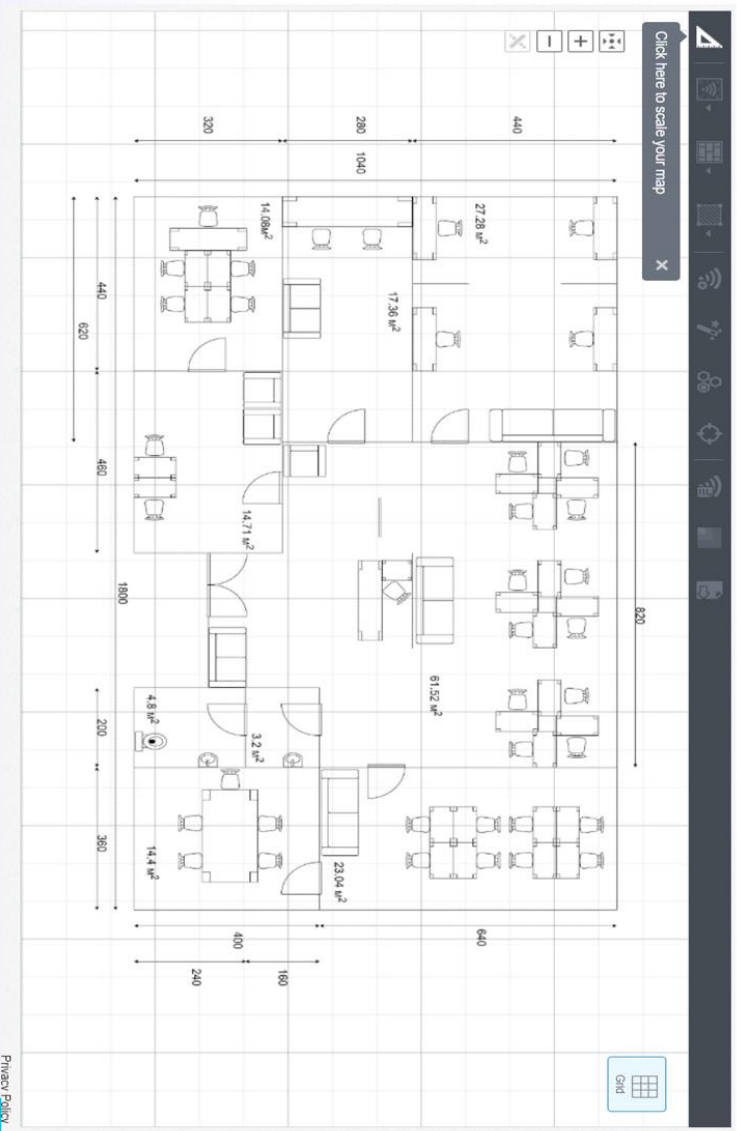
Пошук та вибір обладнання відповідно до вимог.

Налаштування мережі

Підключення та налаштування мережі. Для її коректної роботи.

Вихідні дані

- Кількість користувачів – 40;
- Типи передачі даних – голос, відео, текст;
- Розмір приміщення – довжина 18 метрів, ширина 10,4 метра;
- Кількість приміщень – 7



Характеристика обраної антени RuzeLiFi Light Антенна ONE

Підтримка стандартів – IEEE 802.11b.

Радіус покриття – 6-8 м.

Швидкість передачі даних – до 1 Гбіт/с.

Тип підключення – Ethernet.

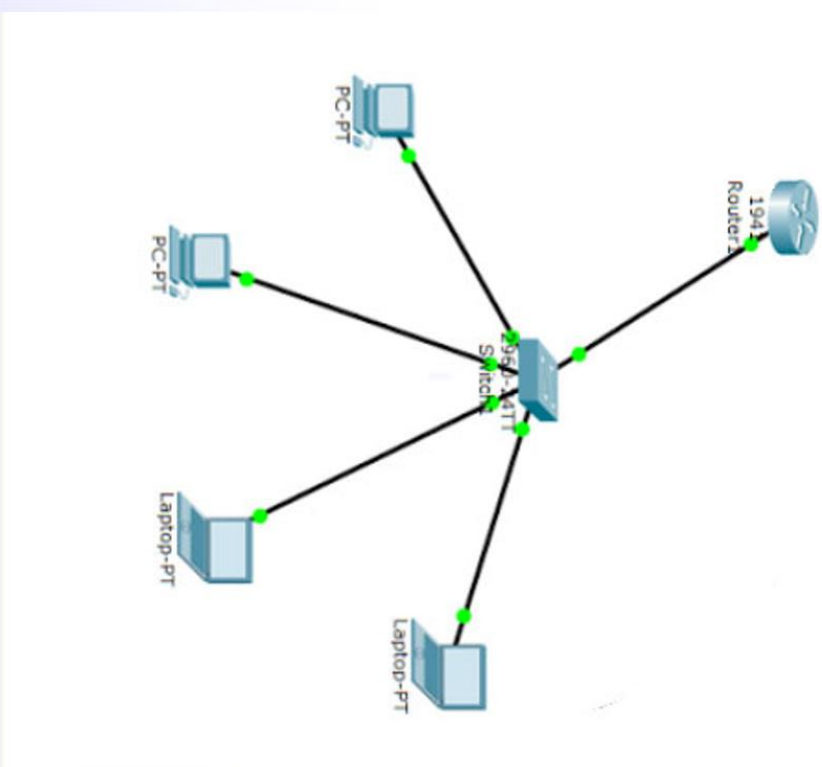
Можливість встановлення у стандартні LED-світильники.



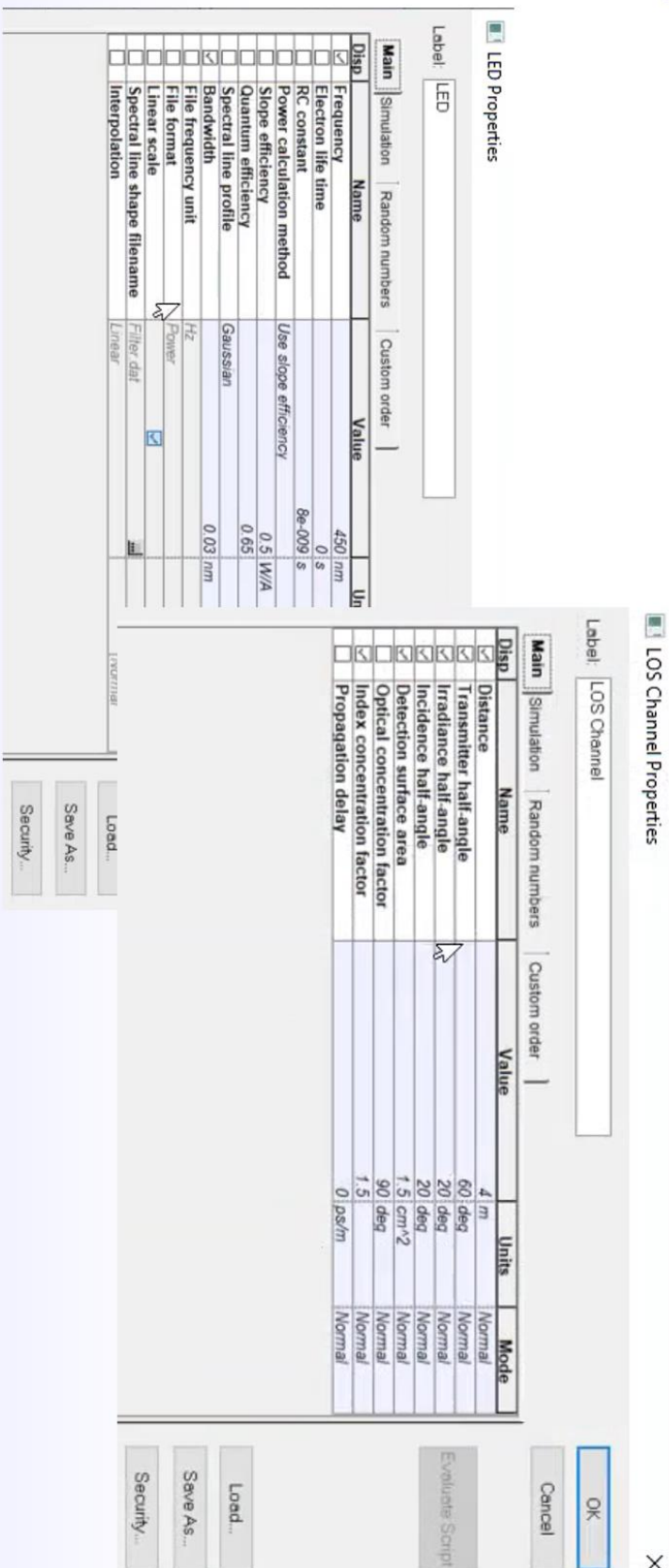
Місця розташування Лед випромінювачів



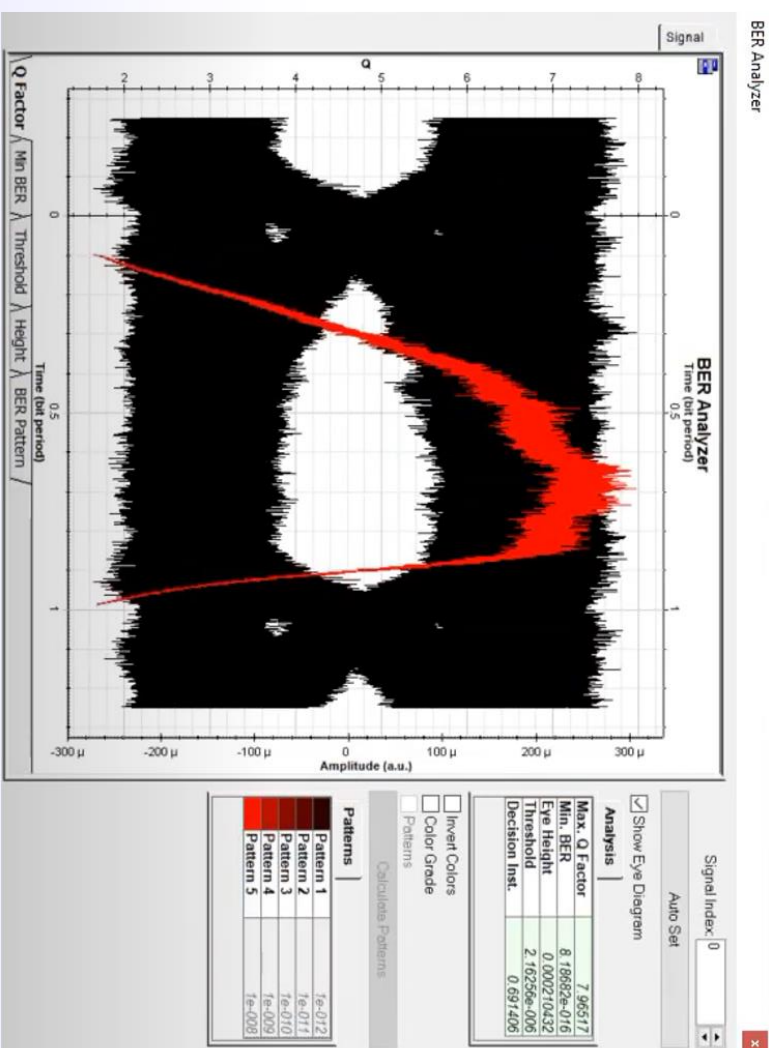
Обрана схема мережі



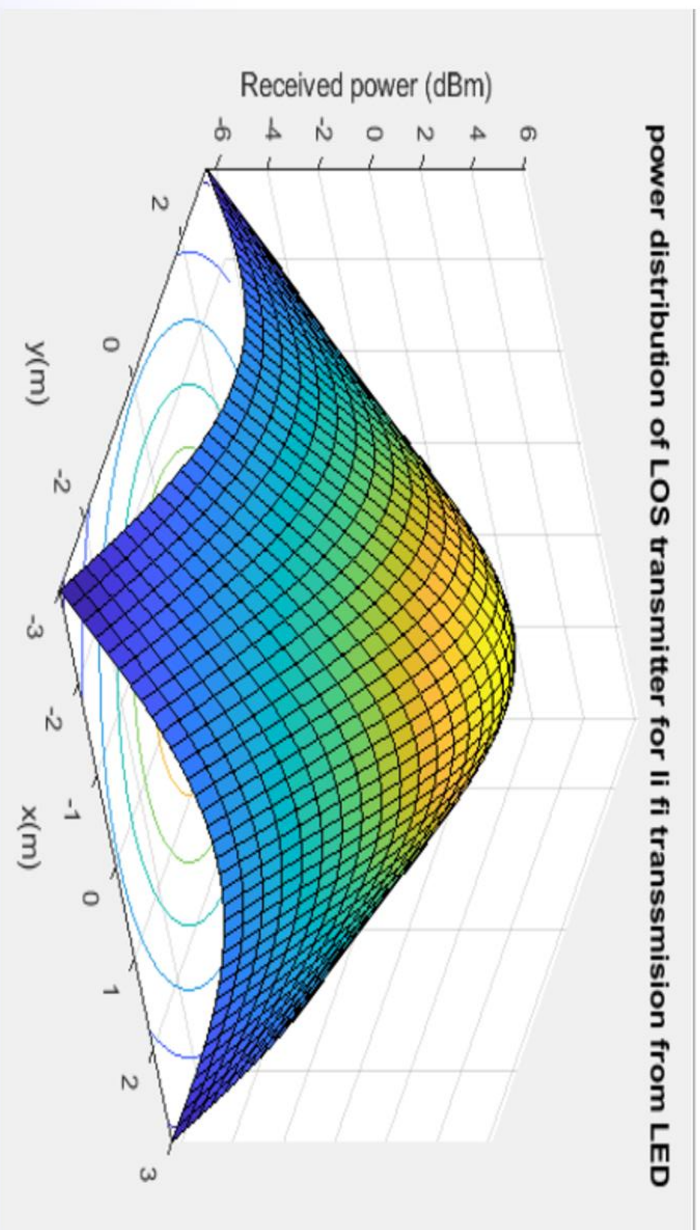
Налаштування Led випромінювачів



Тестування системи передачі даних за допомогою аналізатора BER.



Проекція зони покриття випромінювача 10



Аналіз результатів тестування

II

Аналіз тестування показав, що Лі-Ні мережа забезпечує високу швидкість передачі даних і стабільність у зоні прямої видимості.

Максимальні результати досягнуті поблизу базових станцій, але тінь і віддаленість знижують швидкість і якість сигналу. Загалом мережа продемонструвала високу продуктивність і ефективність для використання на підприємстві.

```
Code Blame 17 lines (13 loc) · 518 bytes
1 # SPDX-License-Identifier: GPL-2.0-only
2 config WLAN_VENDOR_PURELFI
3 bool "purelfi devices"
4 default y
5 help
6 If you have a purelfi device, say Y.
7
8 Note that the answer to this question doesn't
9 kernel: saying 'N' will just cause the configura
10 questions about these cards. If you say Y, you
11 your specific card in the following questions.
12
13 if WLAN_VENDOR_PURELFI
14 source "drivers/net/wireless/purelfi/r1x1c/Kconfig"
15 endif # WLAN_VENDOR_PURELFI
16
17
```

ВИСНОВКИ

12

Технологія Li-Fi показала високу ефективність у створенні швидкої та безпечної мережі для підприємства. Результати тестування підтвердили стабільність з'єднання, мінімальні втрати даних і відповідність сучасним вимогам до продуктивності мережі. Li-Fi є перспективним рішенням для впровадження в корпоративних середовищах.

Хоча й технологія Li-Fi демонструє значні переваги, такі як висока швидкість, безпека та відсутність радіоперешкод, її ефективність залежить від умов прямої видимості між передавачем і приймачем.

Дякую за увагу!