

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут телекомунікаційних систем

Кафедра інформаційно-комунікаційних технологій та систем

«На правах рукопису»
УДК 621.396

«До захисту допущено»

ВО завідувача кафедри

_____ Аліна Мошинська

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

**на тему: «Дослідження технологій високошвидкісної передачі даних з
безпілотних літальних апаратів»**

Виконав:

студент II курсу, групи ТС-11мп
Лобода Роман Ігорович _____

Керівник:

Доцент кафедри ІКТС, доцент
Осипчук С.О. _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра інформаційно-комунікаційних технологій та систем

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (освітня програма) – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
 («Системи та мережі електронних комунікацій»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

ВО завідувача кафедри

_____ Аліна Мошинська

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Лободі Роману Ігоровичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації « Дослідження технологій високошвидкісної передачі даних з безпілотних літальних апаратів»
 науковий керівник дисертації Доцент кафедри ІКТС Осипчук Сергій Олександрович
 затверджені наказом по університету від «__» «__» 202_ р. № _____
2. Строк подання студентом дисертації «_10_» «_12_» 2022 р.
3. Об'єкт дослідження – високошвидкісна передача даних
4. Предмет дослідження – : система високошвидкісної передачі даних з безпілотного літального апарату
5. Перелік завдань, які потрібно розробити
 - Визначити актуальність дослідження методів високошвидкісного передачі даних з безпілотного літального апарату
 - Проаналізувати телекомунікаційної складової для функціонування системи.
 - Проаналізувати архітектурні підходи до побудови мережі.

- Порівняння реальних і тестових систем високошвидкісної передачі даних
- 6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу

Слайд №1 «Тема, магістерської дисертації»

Слайд № 2 «Актуальність магістерської дисертації»

Слайд № 3 «Мета, об'єкт, предмет досліджень»

Слайд № 4 «Сфери застосування безпілотних літальних апаратів»

Слайд № 5 «Архітектурні підходи до побудови мережі»

Слайд № 6 «Опис компонентів системи»

Слайд № 7 «Оцінка показників якості передачі»

Слайд № 8 «Порівняння реальних і тестових систем високошвидкісної передачі даних»

7. Орієнтовний перелік публікацій

Стаття в журнал «Information and Telecommunication Sciences»

Календарний план

№ з/п	Зміст	Строки виконання
	Вступ	15.01.2022
1	Сфери застосування безпілотних літальних апаратів.	01.02.2022
2	Опис проблеми та задачі високошвидкісної передачі даних з безпілотним літальним апаратом.	01.03.2022
3	Визначення технічних можливостей обладнання Mikrotik LHG XL 52 ac	01.04.2022
4	Опис протоколів взаємодії системи високошвидкісної передачі даних.	01.05.2022
5	Архітектурні підходи до побудови мережі.	01.06.2022
6	Дизайн архітектури і побудова реальної	01.07.2022

	системи високошвидкісної передачі даних відео з безпілотним літальним апаратом	
7	Побудова системи високошвидкісної передачі даних	25.07.2022
8	Оцінка показників якості передачі	01.09.2022
9	Порівняння реальних і тестових систем високошвидкісної передачі даних	01.10.2022
	Висновки	30.10.2022

Студент

(підпис)

Роман ЛОБОДА

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Сергій ОСИПЧУК

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Випускна робота містить 97 сторінок, 39 ілюстрацій, 9 таблиць. Було використано 31 джерел.

Мета роботи: на практиці реалізувати готовий проект передавання відео високої чіткості в реальному режимі часу на основі приймально-передавальних засобів IEEE 802.11 Mikrotik LHG XL 52 ac. Налаштування, встановлення зв'язку виду точка-точка, та дослідження характеристик каналу зв'язку значної відстані (>10 км) на основі цифрової радіорелейної лінії (РРЛ), побудованої за стандартами IEEE 802.11, що зазвичай використовуються для безпроводового зв'язку виду точка-багатоточка локального всенаправленого покриття радіусом до кількох сотень метрів.

Актуальність: швидкий розвиток смартфонів, пристроїв підключених до Інтернету спричинив необхідність у покритті великої кількості територій земної поверхні можливістю доступу до передачі даних. В свою чергу доступ до мережі Інтернет не завжди можливо забезпечити за допомогою провідних систем передачі. Прагнення виконувати повсякденну роботу більш ефективно, змушує винаходити все нові системи високошвидкісної передачі даних. Передача відео в реальному режимі часу високої чіткості дозволяє спостерігати та контролювати ситуацію на певній території перебуваючи на досить далекій відстані. Моніторинг стану лісів, полів, певних небезпечних територій значно спрощується при використанні системи високошвидкісної передачі даних з безпілотним літальним апаратом. При використанні такої системи, бізнес процеси багатьох компаній можна сильно оптимізувати. Час реагування на аварійні ситуації значно зменшується.

Об'єкт досліджень: високошвидкісна передача даних

Предмет досліджень: система високошвидкісної передачі даних з безпілотного літального апарату

Результати досліджень: В роботі має бути побудована система передачі високоякісного відео з безпілотного літального апарату і досліджено показників якості передачі.

Висновки: Будуть визначені за результатами досліджень

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, високошвидкісна передача даних, стандарт IEEE 802.11

ABSTRACT

Final work: 97 pages, 39 illustrations, 9 tables, 31 references.

The rapid development of smartphones and devices connected to the Internet caused the need to cover a large number of territories of the earth's surface with the possibility of accessing data transmission. Important to know, it is not always possible to provide access to the Internet using wire transmission systems. The desire to perform everyday work more efficiently forces the invention of new high-speed data transmission systems. High-definition real-time video transmission allows you to observe and monitor the situation in a certain area from a fairly long distance. Monitoring the state of forests, fields, and certain dangerous areas is greatly simplified when using a high-speed data transmission system with an unmanned aerial vehicle.

The master`s thesis consists of three sections, which describe the problems, the history of the development of unmanned aerial vehicles and telecommunication technologies used to build such systems

The purpose of this work is an overview of research and implementation a ready-made high-definition video transmission in real time project based on IEEE 802.11 Mikrotik LHG XL 52 ac transceivers. The paper presents the result of setup and establishment of point-to-point communication, and investigation of the characteristics of a long-range (>10 km) communication channel based on a digital radio relay link (DRL) built according to IEEE 802.11 standards, which are commonly used for point-to-point wireless communication or multipoint local coverage with a radius of up to several hundred meters.

As a result of the work, transmission quality indicators of high-quality video transmission system from an unmanned aerial vehicle should be investigated.

Key words: unmanned aerial vehicle, high-speed data transmission, IEEE 802.11 standard

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП	10
1. РОЗВИТОК БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	11
1.1. Історія розвитку безпілотних літальних апаратів.	11
1.2. Сфери застосування безпілотних літальних апаратів.....	21
1.3. Опис проблеми та задачі високоякісної передачі відео з безпілотним ...	26
1.4. Висновок до розділу 1	30
2. АНАЛІЗ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИМ	32
2.1. Визначення технічних можливостей обладнання Mikrotik LHG XL 52ac	32
2.2. Опис протоколів взаємодії системи високоякісної відео передачі.	34
2.3. Архітектурні підходи до побудови мережі.....	41
2.4. Побудова тестової системи і оцінка якості передачі відео.	46
2.5. Висновок до розділу 2.....	51
3. ДИЗАЙН АРХІТЕКТУРИ І ПОБУДОВА РЕАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ВИСОКОЯКІСНОГО ВІДЕО З БЕЗПІЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ... ..	53
3.1. Опис компонентів системи.....	53
3.2. Побудова системи передачі високоякісного відео.....	58
3.3. Оцінка показників якості передачі	66
3.4. Порівняння реальних і тестових систем передачі високоякісного відео.	84
3.5. Висновок до розділу 3.....	90
ВИСНОВКИ.....	92
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	95

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

UAV	Unmanned Aerial Vehicle
	Internet Protocol — «міжмережевий протокол»
TCP / IP	TCP (англ. Transmission Control Protocol — «протокол керування передаванням»).
ARPANET	Глобальна обчислювальна мережа
WLAN	Wireless Local Area Network
LAN	Local Area Network
OSI	Open System Interconnection
WWW	World Wide Web
HTTP	HyperText Transfer Protocol — протокол передачі гіпертексту
MW	Microwave links
GSM	Global System for Mobile Communications
LTE	Long-Term Evolution
QoS	Quality of service
QoE	Quality of Experience
RLT	Radio Link Terminals
WiFi	Wireless Fidelity, WiFi; — технологія безпроводової локальної мережі.
RLB	Radio Link Bonding

ВСТУП

Сьогодні безпілотні літальні апарати використовуються у різних цілях, включаючи доставку дрібних предметів, інспекції промислових майданчиків, моніторинг інфраструктури, картографування, моніторинг посівів, реагування на надзвичайні ситуації та спостереження за безпекою. Варіанти використання здаються нескінченними. З кожним роком все більше і більше галузей відкривають нові шляхи використання безпілотних літальних пристроїв для збільшення ефективності бізнесу.

Незважаючи на те, що дрони спочатку створювалися для військових цілей, дрони швидко вдосконалилися та зробили прорив споживчої електроніки.

Спочатку вони використовувалися як зброя у вигляді дистанційно керованих повітряних ракетних установок. Однак сьогодні дрони знайшли широке застосування для цивільного використання, особливо у вигляді невеликих квадрокоптерів.

Завдяки бурхливому розвитку мікропроцесорної техніки, систем управління, навігації, передачі інформації, штучного інтелекту безпілотні літальні апарати набули серйозної популярності. Досягнення в цих галузях дають можливість здійснювати політ в автоматичному режимі від зльоту до посадки, вирішувати завдання моніторингу земної (водної) поверхні, а БПЛА військового призначення забезпечувати розвідку, пошук, вибір і знищення цілі.

1 РОЗВИТОК БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Історія розвитку безпілотних літальних апаратів

Створення концепції безпілотних літальних апаратів цілком можна вважати в 1849 році, коли Австрія напала на Венецію, використовуючи безпілотні повітряні кулі, наповнені вибухівкою. Австрійські війська, які в той час облягали Венецію, запустили над містом близько 200 таких запальних куль.

Повітряна куля перевозила від 24 (11 кг) до 30 (14 кг) фунтів бомб. Опинившись на позиції, ці бомби були скинуті з аеростатів-носіїв, щоб спричинити масштабний хаос у місті. Венеціанцям сильно пощастило, лише одна бомба знайшла свій слід, оскільки більшість повітряних куль були збиті з курсу через раптову зміну напрямку вітру.

Подія була досить іноваційною у сфері військових технологій тих часів, але сьогодні використання повітряних куль насправді не відповідає визначенню дронів, особливо військових.

Досить цікаво аналізувати, що базова концепція дронів розглядалася військовими понад 170 років тому. Таке мислення буде стимулювати технологічний розвиток дронів протягом найближчих століть і десятиліть.



Рисунок 1.1 - Зображення одних з найперших військових дронів, які з'явилися в середині 1850-х років

Найбільшою спільною рисою багатьох сучасних комерційних дронів є конфігурація у вигляді квадрокоптера. Ранні розробки цієї технології з'явилися в 1907 році, коли брати Жак і Луї Бреге за допомогою французького фізіолога професора Шарля Ріше розробили ранній прототип зі своїм гіропланом, попередником гелікоптера[2].

Для свого часу дизайн коптера був далекоглядним. Але він досяг висоти лише 0,6 метра. Це не був вільний політ, оскільки для стабілізації конструкції була необхідність у чотирьох чоловіках.

Але з огляду на це, він продемонстрував, що концепція квадрокоптера буде працювати для польотів. Завдяки подальшому технологічному розвитку, ця концепція буде все більш працездатною.

Знову ж таки, як і запальна повітряна куля, яку використовувала австрійська армія понад 50 років тому, це все ще не був, технічно кажучи, безпілотник, яким ми його знаємо сьогодні[2].

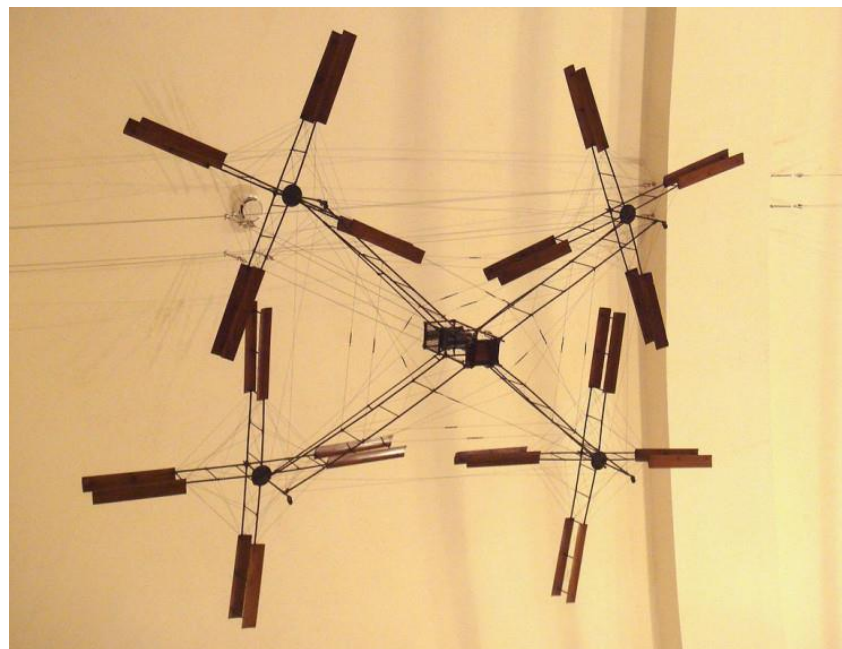


Рисунок 1.2 - Зображення одного із перших квадрокоптерів, які з'явилися на початку 1900-х років

Рухаючись трохи вперед у часі, перший безпілотний літак був розроблений у 1916 році, після початку Першої світової війни. Ці безпілотні військові безпілотні літальні апарати, які отримали назву Ruston Proctor Aerial Target, використовували систему радіонаведення, розроблену британським інженером Арчібальдом Лоу.

Використовуючи створену команду з близько 30 чоловік, Лоу швидко побудував безпілотний літак, який був запущений із задньої частини вантажівки за допомогою стисненого повітря (також перший).

Незважаючи на те, що проекти Лоу мали певний успіх, і Лоу був прозваний «батьком систем радіонаведення», його робота не була продовжена британськими військовими після війни. Передовий характер роботи Лоу не був оцінений британським урядом, хоча німці, безперечно, розуміли його важливість - вони зробили дві спроби вбити Лоу.

Незабаром після цього армія США побудувала «Kettering Bug», який використовував гіроскопічне управління і мав використовуватися як «повітряна торпеда». Кожен «Жучок» запускався з чотириколісного візка, яка котилася по портативному треку. Після заздалегідь визначеного часу блок управління замика електричний ланцюг, що вмикало двигун. Потім крила відпускалися, в результаті чого «Жук» падав на землю, де його 180 фунтів (82 кг) вибухівки вибухали при ударі. Близько 50 «жучок» були побудовані компанією Dayton-Wright Airplane Co., але вони прибули надто пізно, щоб фактично побачити будь-який бій[2].



Рисунок 1.3 - Безпілотний літальний апарат 1915-1920 років

Після Першої світової війни технологічні розробки БПЛА не припинялися. У 1930-х роках ВМС США почали експериментувати з радіокерованими літаками, в результаті чого в 1937 році був розроблений безпілотник Curtiss N2C-2.

У 1935 році розробили британці «Queen Bee», радіокерований безпілотник, який, як вважають, також призвів до використання терміну «дрон» для радіокерованих безпілотних літаків.

Radioplane OQ-2, літака з дистанційним керуванням, розроблений британським актором Реджинальдом Денні та інженером Волтером Райтером у 1930-х роках, фактично став масовим першим безпілотним виробом у США. Під час війни для військових було виготовлено майже 15 000 безпілотників.

Проте справжня заслуга у винаході радіокерованого літака, який міг би вилітати з поля зору, належить Едварду М. Соренсену, який запатентував винахід, у якому використовувався наземний термінал для відстеження переміщення літака. До цієї розробки перші радіокерованого літака могли діяти лише в межах видимості керуючого.

Однак найпомітнішою подією Другої світової війни, що стосується безпілотників, стала поява в німецькій армії V-1 «Doodlebugs». Оснащені імпульсними реактивними двигунами, ці кораблі були фактично першими в світі крилатими ракетами.



Рисунок 1.4 - Безпілотний літальний апарат 1930-1945 років

Вони були використані в операції «терористичних бомбардувань» у британських містах, таких як Лондон, з метою деморалізації британської громадськості. Дана система наведення використовувала простий автопілот для контролю висоти та швидкості повітря; пара гіроскопів, азимут підтримували за допомогою магнітного компаса, для контролю висоти використовувався барометричний прилад. Гіроскопом, кермом і ліфтом керували за допомогою повітря під тиском.

Пізніше ця технологія була перепроєктована американцями, які розробили власні безпілотні літальні апарати з імпульсним двигуном, такі як TD2D-1 Katydid і Curtiss KD2C.

Пройшовши на кілька років вперед, наступний великий крок у технології безпілотників стався під час війни у В'єтнамі. У цій війні було вперше широко розгорнуто та використано безпілотники як спеціальні розвідувальні БПЛА.

Більш того, БПЛА почали використовуватися в ряді нових ролей, так як приманка в бою, запуск ракет проти фіксованих цілей і скидання листівок для психологічних операцій, згідно з імперським військовим музеєм у Лондоні.

Наприкінці 1950-х років американський дрон-шпигун, пілотований SR-71 Blackbird, все ще розроблявся, і супутники-шпигуни ще не були готові до розгортання.

Під час ведення бойових дій, потрібні було розробити спеціалізовані БПЛА для безпечного збору інформації в районах бойових дій. Деякі моделі дійсно існували, наприклад Ryan 147B, але їх потрібно було встановити на C-130 і спуститися з парашутом на землю, щоб отримати будь-яку зібрану інформацію.

Потреба в дронах також виникла у багатьох інших країн, які також розпочали досліджувати використання БПЛА для різних військових застосувань. Нові моделі дронів ставали більш іноваційними, досконаліми, оскільки розробники зосередилися на підвищенні дальності та висоті, на якій дрони могли безпечно працювати.

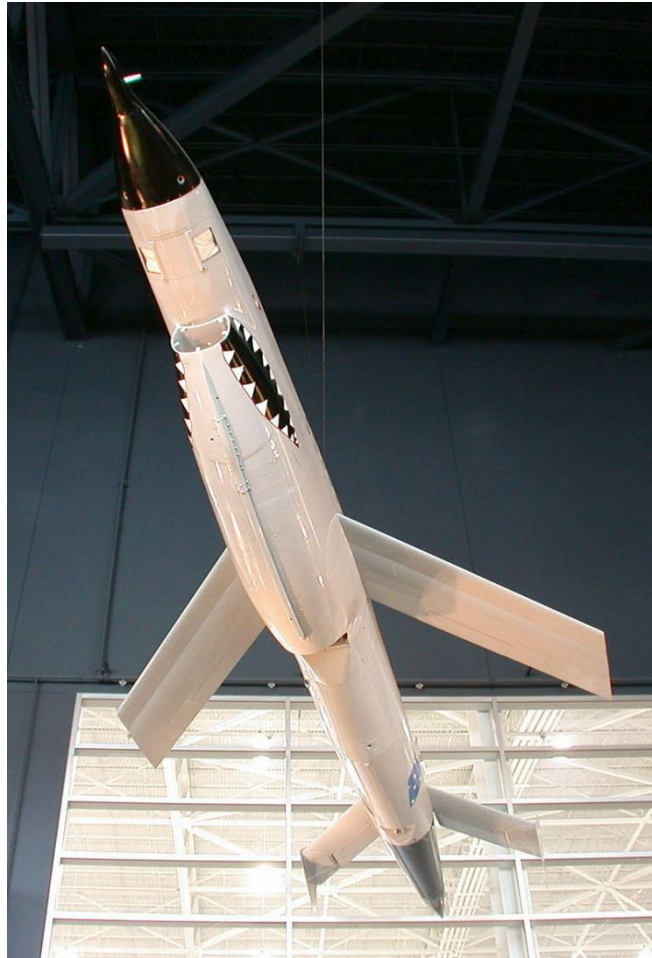


Рисунок 1.5 - Зображення перших безпілотників з камерами для розвідки під час війни у В'єтнамі

Завдяки значному прориву в транзисторних технологіях того часу, радіокеровані компоненти можна було мініатюризувати, для подальшого продавання цивільним клієнтам за розумною ціною. Це призвело до деякого всплеску в радіокерованих літаках протягом цього десятиліття.

Літаки почали з'являтися у модифікованих формах, це дозволяло ентузіастам будувати та літати на радіокерованих пристроях як у приміщенні, так і на вулиці. Велика кількість створених авіаклубів також була заснована любителями. Це створило промисловість, що прискорило розвиток комерційної радіокерованих технології.

Враховуючи те, що США змогли досягти прориву в масовому виробництві та постачаннях безпілотників для військових, БПЛА часто вважалися дорогими та ненадійними. Ця точка зору змінилася в 1982 році, коли ізраїльські сили використали безпілотну авіацію, щоб здобути перемогу над сирійськими силами з мінімальними втратами.

США також розпочали програму Pioneer UAV у 1980 році з метою створення недорогого дрона для роботи флоту. Спільний проект США та Ізраїлю в 1986 році призвів до розробки RQ2 Pioneer – середнього розвідувального літака.

Також в цей період розробники дронів почали акцентувати свою увагу на альтернативних джерелах живлення для дронів. Найбільш очевидним джерелом була сонячна енергія.

Це призвело до розробки кількох цікавих дронів на сонячних батареях, включаючи AeroVironment HALSOL.

Міні та мікро версії БПЛА були представлені в 1990 році, а знаменитий безпілотник Predator був представлений у 2000 році. Він використовувався в Афганістані для запуску ракет і для пошуку Осамы бен Ладена. У наступні роки компанією AeroVironment Inc було розроблено ряд малогабаритних безпілотників для спостереження, таких як Raven, Wasp і Puma.

Одним з найбільш переломних років в історії дронів став 2006 рік. Це був рік, коли FAA офіційно видало перший комерційний дозвіл на безпілотник. Однак заявки від споживачів починалися повільно надходити. Протягом перших кількох років на отримання дозволів зверталася дуже мала кількість людей.



Рисунок 1.6 - Безпілотні літальні апарати для військових і цивільних цілей
1990-2010

Починаючи з 2010 відбувся величезний всплеск інновацій і комерційного інтересу до дронів. До цього моменту дрони використовувалися в основному для військових цілей або для любителів, починаючи з початку 2010-х років, для безпілотників було запропоновано безліч нових застосувань, включаючи їх використання як засоби доставки.

До середини десятиліття FAA спостерігало значне зростання попиту на дозволи на безпілотники: у 2015 році було видано близько 1000 комерційних дозволів на дрони.

Через рік ця цифра зросла втричі й відтоді продовжує значно зростати.

Оснащення БПЛА камерами зараз є звичним явищем у комерційній фотографії та відеозйомці. Це результат злиття радіокерованих (RC) літаків і технології смартфонів.

Швидке зростання використання смартфонів знизило ціни на різні компоненти, а саме на мікроконтролери, акселерометри та датчики камер, які ідеально підходять для використання в літаках любителів. Подальші досягнення дозволили керувати дроном з 4 або більше роторами, регулюючи швидкість окремих роторів.

Підвищення стійкості багатороторних літаків відкрило нові можливості для їх використання в різних напрямках.

Використання дронів в досить вузько направлених сферах також стає все більш популярним. Через менші розміри та портативність, дрони можуть використовуватися поліцією та пожежними службами для спостереження.

Однак зростаюче використання нерегульованих БПЛА також підняло питання щодо конфіденційності та фізичної безпеки.



Рисунок 1.7 - Радіокеровані пристрої 2015-2022 років

1.2 Сфери застосування безпілотних літальних апаратів

На сьогоднішній день безпілотні літальні апарати використовуються у багатьох різних сферах, таких як, сільське господарство, лісне господарство, виявлення злочинів та адміністративних правопорушень, забезпечення оперативного зв'язку, відеодокументування правопорушень, управління наземними нарядами оперативних служб. Також сьогодні БПЛА широко використовуються у військовій сфері, за допомогою яких здійснюються велика кількість різних поставлених задач. БПЛА також використовуються для картографування, зйомки та визначення погодних умов конкретної місцевості. Також існує ряд інших сфер застосування, такі, як в логістиці та транспорті, енергетиці, будівництві та видобутку корисних копалин, ЗМІ та розвагах, страхуванні, дикій природі та наукових дослідженнях.

На основі конструкції платформи ринок БПЛА було класифіковано на цивільні та комерційні та оборонні та урядові. У 2022 році міністерство оборони та уряд забрало найбільшу частку ринку завдяки високим цінам на військові безпілотники. Сегмент оборони та уряду далі класифікується на малий, стратегічний і тактичний. Висотні довгострокові (HALE) і середньовисотні довгострокові (MALE) БПЛА належать до категорії стратегічних безпілотників. На великих висотах ці БПЛА, як правило, важкі і, отже, потребують тривалої витривалості та збільшеної дальності. Двома відомими версіями БПЛА HALE є Global Hawk, запропонований Northrop Grumman (США), і Sentinel, виготовлений Lockheed Martin (США).

Ринок БПЛА сегментовано логістику та транспорт, на оборону та безпеку сільське господарство, будівництво та видобуток корисних копалин, медіа та розваги, енергетику, страхування, дику природу та лісове господарство, науку та дослідження. За оцінками, сегмент транспортування та логістики фіксує найвищі показники протягом даного періоду завдяки значному зростанню

глобального сектору електронної комерції. Також поштові компанії обирають нові методи доставки. Тобто компанії замінюють свої традиційні бізнес-моделі доставки. Декілька країн зосереджують увагу на використанні БПЛА для поштових відправлень, ринок БПЛА зростатиме. В подальшому все більше і більше країн будуть розвивавати дану сферу також. Поштова служба США розповідає можливість впровадження БПЛА у свій автопарк для вдосконалення, оптимізації операцій доставки пошти та підтримки збору геопросторових зображень та інших даних. Такі компанії, як DJI (Китай), активно розробляють рішення для доставки посилок за допомогою БПЛА. Компанія Amazon (США) вже розробив такі послуги. Зниження вартості, щільність міського середовища та зростання попиту на швидкі терміни доставки сприяють зростанню даного сегменту.

Зростання ринку БПЛА в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні пояснюється збільшенням військових витрат (на оборону та внутрішню безпеку) країн регіону для підвищення їх обороноздатності. Крім того, політична напруженість у країнах Азіатсько-Тихоокеанського регіону призвела до розміщення безпілотників для забезпечення безпеки їхніх кордонів. Це є одним із найважливіших факторів зростання ринку БПЛА в регіоні[3].

Тенденції автоматизації в Індії, Австралії та Китаї та триваюча глобалізація також сприяють зростанню ринку БПЛА в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні. БПЛА все частіше використовуються в сферах моніторингу забруднення та сільського господарства, в сферах нерухомості, для проведення перевірок у Китаї та Японії. Попит на БПЛА в Китаї зростає для військового та комерційного застосування. Виробники в країні зосереджуються на розробці високопродуктивних дронів, які можуть працювати при різних температурах. Крім того, Китай посів друге місце в списку 10 країн з найбільшим оборонним бюджетом. У 2021 році Китай інвестував в оборонний сектор 293,0 мільярда доларів США.

Основними гравцями на ринку БПЛА є DJI (Китай), Northrop Grumman Corporation (США), Raytheon Technologies Corporation (США), Israel Aerospace Industry Ltd. (Ізраїль), General Atomics Aeronautical Systems (GA-ASI). Дані компанії прийняли різні стратегії зростання, такі як контракти, спільні підприємства, угоди та партнерства, придбання та запуск нових продуктів для подальшого розширення своєї присутності на ринку БПЛА.

Автономність є значною перевагою, яку БПЛА, інтегровані з AI, можуть принести фізичній безпеці. Людина-оператор, яка залучена до спостереження за БПЛА, схильна до втоми та помилок, інколи може втрачати концентрацію та пропускати загрози. Автономні системи безпеки БПЛА можна запрограмувати на надійну та безперебійну роботу на великих територіях. Вони також можуть забезпечувати автономне реагування на загрози, наприклад, транслювати відео в прямому ефірі групі безпеки, відправляти безпілотник до місця сигналізації, стежити за підозрюваними, що втікають, і надавати поліції інформацію про відстеження в режимі реального часу. Можливості автоматичного виявлення перешкод, уникнення зіткнень і точного приземлення значно розширюють можливості використання дронів у цьому контексті[3].

Моніторинг великих і небезпечних зон. Безпілотники можуть з високою ефективністю та швидко виконувати виснажливі та повторювані завдання моніторингу великих територій, оглядати важкодоступні місця та збирати дані, необхідні для оцінки потенційно небезпечних ситуацій. Безпілотні літальні апарати можуть наближатися до небезпечних місць, таких як зони високої напруги, не наражаючи людей на ризик заподіяння шкоди та дозволяючи приймати більш обґрунтовані рішення під час несприятливих інцидентів, завдяки здатності охоплювати величезні території незалежно від рельєфу. Дрон може швидко пролетіти, виявляти загрози та надавати аерофотознімки та кадри в реальному часі. Це дозволяє працівникам служби безпеки оцінити рівень безпеки та визначити відповідну реакцію. Безпілотники також стають у

пригоді, щоб забезпечити повне охоплення місця злочину, щоб поліцейські були повністю проінформовані про ситуацію та оцінили ризик, перш ніж вирушити на ліквідацію інциденту.

Безпілотники можуть допомогти заощадити кошти і час, особливо коли йдеться про великі промислові об'єкти, такі як нафтогазовидобувні майданчики, сонячні електростанції, складські приміщення або захист трубопроводів, де належне відеоспостереження має вирішальне значення для зменшення ризиків пошкодження, витоків і захисту від крадіжки обладнання та сировини. матеріалів. Однак купувати, встановлювати та обслуговувати камери у віддалених районах в фінансовому плані досить дорого. З використанням БПЛА проводити перевірки дешевше. Патрульні безпілотники мають можливість контролювати великі території та надавати високоякісні зображення та відеоматеріали в режимі реального часу, що також може означати, що на місці потрібно менше офіцерів служби безпеки, щоб захистити певне місце або майно. Швидкість - ще одна перевага. Дрони набагато швидші за патрульну машину чи правоохоронця, що дозволяє їм у кілька разів швидше дістатися до місця події та дає можливість швидко реагувати[4].

Безпілотники безпеки, які використовуються для відеоспостереження, наділені широким функціоналом в технічному і програмному плані, вони можуть виконувати практичні та запрограмовані функції. Безпілотні літальні апарати можуть служити для посилення людської охорони, патрулюючи робочі місця та знімаючи аерофотозйомку активів, охороняючи периметри та запобігаючи злому. БПЛА інтегровані з технологіями штучного інтелекту, вони можуть запропонувати потокову передачу даних у реальному часі 24 години на добу. Завдяки штучному інтелекту безпілотники стають розумнішими та можуть автоматично ідентифікувати об'єкти, які створюють загрози, попереджаючи служби безпеки про небезпеку. БПЛА також можна налаштувати, щоб ініціювати певні дії в режимі реального часу, якщо виявлено

небезпечні об'єкти, зброю, вторгнення на периметр або аномальну поведінку. За допомогою БПЛА співробітники служби безпеки можуть розширити свою обізнаність про ситуацію в режимі реального часу, значно підвищуючи ефективність використання своїх людських ресурсів. Завдяки штучному інтелекту відеоаналітика дозволяє їм швидше приймати рішення щодо реагування на інциденти та виконувати віддалені операції безпеки. Здатність охоплювати величезну місцевість і збирати корисні дані робить БПЛА придатними для виявлення загроз скрізь, забезпечуючи захист периметра та навіть відстежуючи великі натовпи. Безпілотники також можуть служити стримуванням недружніх елементів.

При охороні стоянок, безпілотники можуть порівнювати фактичні номерні знаки з номерними знаками, підозрюваних авто в певному документі, саме такими діями допомагати співробітникам служби безпеки виявляти викрадені автомобілі або ідентифікувати неавторизовані транспортні засоби.

Безпілотники можуть стати важливою частиною сучасних методів безпеки для дистанційного патрулювання. Це критично важливо для таких об'єктів, як кар'єри, шахти, ферми чи вітрові електростанції, які зазвичай мають обмежену систему дистанційного моніторингу. Для спостереження за територією можна запланувати патрулювання безпілотників, що дозволить швидко виявити та визначити загрозу. У разі порушення безпеки автономні дрони на основі штучного інтелекту виявляють загрози та автоматично надсилають сповіщення, щоб служба безпеки могла підготуватися до втручання. Групи безпеки також можуть стежити за дронами в прямому ефірі та аналізувати відеозворотний зв'язок через їхній віддалений інтерфейс[5].

AI полегшує та автоматизує процес збору даних. Дрони, інтегровані з технологією штучного інтелекту, можуть значно краще аналізувати навколишнє середовище, точніше малювати території та пропонувати точний аналітичний зворотний зв'язок. Одним із прикладів є спостереження за безперервним

потокем людей і підрахунок кількості людей, які входять і залишають певну зону. Це гарантує, що місця з обмеженою пропускною здатністю ніколи не стануть переповненими та небезпечними.

Спалах COVID-19 у всьому світі може прискорити зростання використання дронів у фізичній безпеці. Насправді, у своїх коротких інструкціях ЮНІСЕФ зазначає, як дрони можна використовувати для боротьби з COVID-19, і деякі випадки використання включають вибір і скидання лабораторних зразків, медичне забезпечення для заражених, розпилення дезінфікуючих засобів з повітря, а також моніторинг і керівництво громадськими місцями. Крім того, дрони можна запрограмувати на відстеження тих, хто не дотримується заходів безпеки щодо COVID, і видавати їм попередження. Лідери галузі припускають, що зміна поведінки клієнтів через обмеження щодо COVID-19 сприятиме зростанню сектору дронів.

1.3 Опис проблеми та задачі високоякісної передачі відео з безпілотним

У сучасному світі важливу роль у багатьох сферах відіграє швидка передача інформації. Людство придумало багато різних методів передачі. Прагнучи все швидше і швидше передавати інформацію, люди розробляли провідні системи передачі, безпроводні системи передачі, які реалізуються за допомогою різних технічних засобів. Провідні системи дозволяють передавати більші об'єми даних зі високою швидкістю. Безпроводні системи дозволяють кінцевим користувачам бути більш мобільними порівнюючи з провідними.

Будь-яка система передачі даних (СПД) може бути описана через три основні свої компоненти. Такими компонентами є передавач (джерело передачі інформації), канал передачі даних і приймач (одержувач інформації). При двосторонньому обміні (дуплексній передачі) джерело й одержувач можуть

бути об'єднані так, що їхнє устаткування може передавати і приймати дані одночасно.

Однією з найдавніших і найпоширеніших форм телекомунікаційних систем, що використовувалися історично та в наш час, є оптичний телекомунікації. Оптичні телекомунікації можна визначити як використання світла для передачі інформації. Деякі з найбільш помітних і знайомих прикладів оптичних телекомунікаційних систем включають навігаційні вогні, сигнальні ракети, семафорний зв'язок і димові сигнали. Хоча ці нецифрові методи зв'язку можуть здатися застарілими, вони все ж є невід'ємними елементами сучасної інфраструктури. Волоконно-оптичні та інфрачервоні датчики також є видами оптичного телекомунікації[1].

Радіотелекомунікації є широко використовуваним інструментом. Одна з головних переваг радіозв'язку полягає в тому, що його можна використовувати для спілкування з людьми на великих відстанях. З початку 20-го століття радіотелекомунікаційні системи розвивалися швидкими темпами і стали одним із найважливіших елементів сучасної технологічної інфраструктури. Радіотелекомунікаційні системи були впроваджені як на професійному рівні, так і на споживчому рівні, що ще більше розширює охоплення цієї надзвичайно універсальної технології[1].

У світі телекомунікацій конкретні комунікаційні засоби часто класифікуються за їхнім статусом як напівдуплексні або повнодуплексні. Основна відмінність між цими двома формами спілкування полягає в тому, чи може спілкування відбуватися одночасно між обома сторонами. Наприклад, повнодуплексна система, така як стільниковий пристрій, дозволяє людям взаємодіяти один з одним одночасно. Напівдуплексна система, наприклад радіопередавач, може надсилати повідомлення лише тоді, коли одержувач не задіяв пристрій передачі. У цьому сенсі напівдуплексна система дозволяє надсилати повідомлення лише послідовно, а не одночасно. Хоча напівдуплексні

системи спочатку можуть здатися дещо застарілими, майте на увазі, що навіть деякі сучасні Інтернет-системи покладаються на цю технологію для своєї роботи. Слід зазначити, що статус пристрою як напівдуплексного чи повнодуплексного не обов'язково відображає рівень його складності чи його потужність[1].

Швидкий розвиток смартфонів, пристроїв підключених до Інтернету спричинив необхідність у покритті великої кількості територій земної поверхні можливістю доступу до передачі даних. В свою чергу доступ до мережі Інтернет не завжди можливо забезпечити за допомогою провідних систем передачі. Прагнення виконувати повсякденну роботу більш ефективно, змушує винаходити все нові системи високошвидкісної передачі даних. Передача відео в реальному режимі часу високої чіткості дозволяє спостерігати та контролювати ситуацію на певній території перебуваючи на досить далекій відстані. Моніторинг стану лісів, полів, певних небезпечних територій значно спрощується при використанні системи високошвидкісної передачі даних з безпілотним літальним апаратом. При використанні такої системи, бізнес процеси багатьох компаній можна сильно оптимізувати. Час реагування на аварійні ситуації значно зменшується.

Безпілотні літальні апарати на сьогоднішній день мають найбільшу популярність в військовій сфері. За допомогою великої кількості різних форм та характеристик, ті чи інші БПЛА виконують поставлені задачі при проведенні військових операцій. Спостереження за переміщенням ворожої техніки, моніторинг обстановки на державному кордоні, ураження ворожої техніки та сил противника стало основною задачею БПЛА при військових конфліктах. З кожним днем все більше і більше країн світу розуміють, що швидка передача інформації з дронів відіграє ключову роль, тому в подальшому розвитку цієї сфери ніхто не сумнівається.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) набувають все більшого значення в умовах сучасної війни, і нинішнє протистояння між Росією і Україною - не виняток. На цьому тлі все більше уваги привертає до себе Туреччина, адже її безпілотники - це серйозна бойова допомога для України у стримуванні російської агресії. "За останні 20 років Анкара створила потужну базу з виробництва безпілотників", - каже незалежний військовий аналітик Арда Мевлутоглу. Вони ефективно використовують свої безпілотники в безпекових операціях всередині країни і за кордоном. В Туреччині працюють два основних виробники безпілотних літальних апаратів. Baykar Defence, що виробляє популярні Байрактар ТБ2 і Байрактар Акинжі. Інший великий виробник - Turkish Aerospace Industries випускає безпілотники TAI Anka і TAI Aksungur. Байрактарів ТБ2 Безпілотник оснащений складною електрооптичною камерою, системою передачі даних та двома-чотирма високоточними боєприпасами[2].

"Армія безпілотників дозволить нам постійно контролювати лінію фронту завдовжки 2 470 км та ефективно реагувати на атаки противника з використанням сучасних технологій", - заявив помічник головнокомандувача ЗСУ полковник Олексій Носков[3].

Валерій Яковенко, співзасновник української компанії DroneUA, розповів BBC News, що дрони, разом із супутниковою інтернет-системою Ілона Маска Starlink та професійним радіообладнанням, зараз є однією з найбільш популярних технологій. І навіть маленькі - дуже корисні, оскільки надають переважно польові дані, визначаючи місцезнаходження ворожих військ та коригуючи артилерійський вогонь. "Тут важлива швидкість обміну інформацією між "полем" та генштабом, щоб рішення ухвалювалися практично миттєво"[3].

Росіяни застосовують велику кількість армійських безпілотників у небі над Україною: від масових "Орланів-10" до розвідувально-ударних "Форпостів" та "Оріонів". Найбільш поширеним і ефективним безпілотником в армії Росії вважається "Орлан-10" - розвідник, що здатний підійматися на висоту до 5 км.

Радіус його дії - до 120 км від наземної станції управління. Час перебування у повітрі - до 18 годин, швидкість польоту - 90-150 км на годину. Розмах крил - 3 метри, тобто він досить компактний. Фактично, це "очі" російської артилерії: "Орлани" інтегровані з важкими САУ "Мста-С" й можуть корегувати їхній вогонь в реальному часі. Вони ж здатні здійснювати і лазерну підсвітку для російських керованих снарядів "Краснополь"[4].

1.4 Висновки до розділу 1

У даному розділі було розглянуто історію створення БПЛА, сфери їх застосування та описано основні проблеми та задачі. Поява безпілотних літальних апаратів зробила можливим виконання складних, рутинних, а інколи не можливих для людини завдань повсякденністю. На сьогоднішній день велика кількість різних типів БПЛА використовуються у сферах , таких як, сільське господарство, лісне господарство, виявлення злочинів та адміністративних правопорушень, забезпечення оперативного зв'язку, відеодокументування правопорушень, управління наземними нарядами оперативних служб. Також сьогодні БПЛА широко використовуються у військовій сфері, за допомогою яких здійснюються велика кількість різних поставлених задач. БПЛА використовуються для картографування, зйомки та визначення погодних умов конкретної місцевості. Існує ряд інших сфер застосування, такі, як в логістиці та транспорті, енергетиці, будівництві та видобутку корисних копалин, ЗМІ та розвагах, страхуванні, дикій природі та наукових дослідженнях. Безпілотні літальні апарати пройшли довгий шлях від досить примітивних пристроїв до апаратів, які наділенні широким функціоналом і можуть використовуватись на значних відстаннях. Спостереження за переміщенням ворожої техніки, моніторинг обстановки на державному кордоні, ураження ворожої техніки та сил противника стало основною задачею БПЛА при військових конфліктах. З

кожним днем все більше і більше країн світу розуміють, що швидка передача інформації з дронів відіграє ключову роль, тому в подальшому розвитку цієї сфери ніхто не сумнівається. Широко розвивається сфера автоматизованих БПЛА, які зазвичай використовуються для доставки товарів, моніторингу стану полів, лісів. Однак зростаюче використання нерегульованих БПЛА також підняло питання щодо конфіденційності та фізичної безпеки.

2 АНАЛІЗ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИМ

2.1 Визначення технічних можливостей обладнання Mikrotik LHG XL 52ac

Для керування безпілотним літальним апаратом потрібно встановити з'єднання БПЛА і наземною станцією. Для вирішення такої задачі потрібно використовувати телекомунікаційні засоби.

Система зв'язку – це сукупність технічних пристроїв для передачі повідомлення від джерела до одержувача. Узагальнена структурна схема одноканальної системи зв'язку на рис. 2.1 відображає найбільш типові перетворення, які зазнає повідомлення в системі зв'язку. Схема притамана для будь-яких видів повідомлень[6].

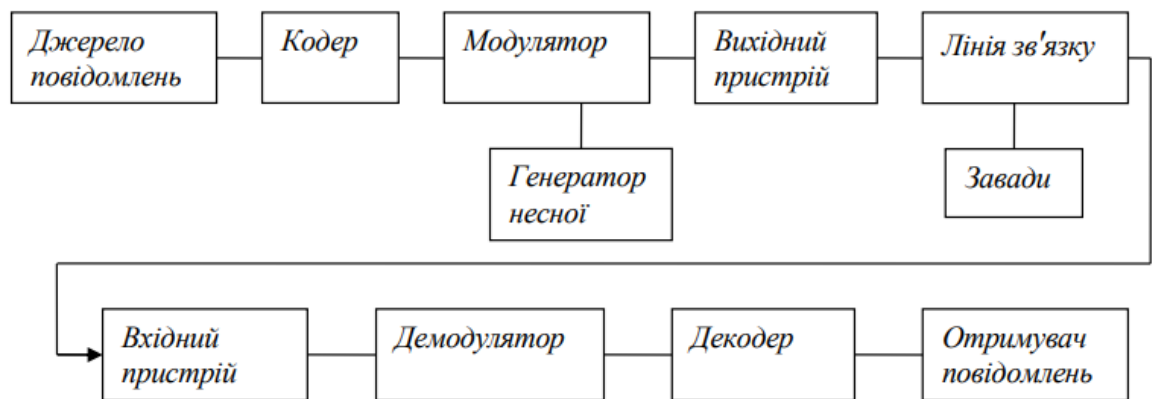


Рисунок 2.1 - Узагальнена структурна схема системи зв'язку

Кодер здійснює наступне:

- перетворює неелектричне, як правило, повідомлення в електричний сигнал;
- перетворює аналоговий (неперервний) сигнал у дискретний (цифровий);

- здійснює ефективне кодування з метою зменшення необхідної швидкості передачі інформації при заданій якості (усунення надмірності повідомлення);

- здійснює завадостійке кодування, що дозволяє поліпшити якість прийому повідомлення.

Генератор несучої – генерує коливання з постійною амплітудою, частотою, фазою.

Модулятор – змінює амплітуду, частоту або фазу носія у відповідність із сигналом, що модулює, і надходить від кодера.

Вихідний пристрій – підсилює сигнал для забезпечення заданої якості зв'язку й обмежує спектр передаваного сигналу до смуги частот, відведеної для заданої системи зв'язку.

Кодер, модулятор, генератор несучої й вихідний пристрій утворюють передавач.

Лінія зв'язку – сукупність технічних пристроїв або середовищ (кабель, дротова лінія, оптична лінія зв'язку або ефір), по яких сигнал надходить від передавача до приймача. При передачі сигнал може перекручуватися й на нього можуть накладатися завади $n(t)$.

Вхідний пристрій – виділяє сигнал свого передавача, фільтрує (не пропускає) сигнали сусідніх по частоті передавачів і завади, а також підсилює сигнал.

Демодулятор – перетворює високочастотний модульований сигнал у низькочастотний (сигнал на виході демодулятора приблизно відповідає тому, що був на вході модулятора) [6].

Декодер:

- приймає рішення щодо кожної послідовності (1 або 0);
- декодує кодові комбінації, виправляє частину помилок;
- перетворює кодові комбінації в повідомлення, зручні для одержувача.

Одержувач повідомлення – люди, комп'ютер або інші технічні пристрої[5].

Приймально-передавальне обладнання Mikrotik LHG XL 52 ас застосовується для побудови двосмугових РРЛ для відстаней порядку кількох десятків кілометрів. LHG XL 52 ас забезпечує саме це завдяки своїм двосмуговим можливостям: можна налаштувати канал 5 ГГц як основний зі швидкістю до 600 Мбіт/с і використовувати канал 2,4 ГГц як автоматичне резервне з'єднання зі швидкістю до 260 Мбіт/с. Потужна 27 дБі 5 ГГц / 18 дБі 2,4 ГГц антена забезпечить направлене з'єднання з відстанню зв'язку до 40 км. Конструкція сітки антени забезпечує захист від вітру. Робочий діапазон температур: від -40 С° до +70 С°. Елемент антени вбудований у безпроводовий блок, що забезпечує відсутність втрат на кабелях. Приймально-передавальний обчислювальний блок витримує великі навантаження завдяки чотирьохядерному процесору та 256 МБ оперативної пам'яті. Робоча частота (Максимальна вихідна потужність): 2400-2483.5 МГц (20 дБм), 5150-5250 МГц (23 дБм), 5250-5350 МГц (20 дБм), 5470-5725 МГц (27 дБм)[11].

2.2 Опис протоколів взаємодії системи високоякісної відео передачі

Протокол - набір правил, що визначають способи управління з'єднаннями на фізичному і логічному рівнях. Для виконання своїх функцій одні протоколи часто використовують інші протоколи.

Протоколи мережевої взаємодії TCP / IP є результатом еволюційного розвитку протоколів глобальної обчислювальної мережі ARPANET.

Роботи зі створення мережі ARPANET були розпочаті рядом університетів США і фірмою BBN в 1968 р У 1971 р мережа була введена в регулярну експлуатацію і забезпечувала для всіх своїх вузлів три основні послуги:

- інтерактивний вхід користувача на віддалений вузол;

- передача файлів між вузлами мережі;
- електронна пошта.

Все це базувалося на транспортних послугах що надаються програмою управління мережі NCP (Network Control Program), що реалізує свій внутрішній набір протоколів.

Накопичений до 1974 р досвід експлуатації мережі ARPANET виявив багато недоліків протоколів NCP і дозволив визначити основні вимоги до нового набору протоколів, який отримав назву TCP / IP:

- незалежність від середовища передачі повідомлень;
- можливість підключення до мережі ЕОМ будь-якої архітектури;
- єдиний спосіб організації з'єднання між вузлами в мережі;
- стандартизація прикладних протоколів.

Широко використовувана нині версія 4 протоколів TCP / IP була стандартизована в 1981р. у вигляді документів, які називаються RFC (Request For Comment). Повний перехід мережі ARPANET на нові протоколи був завершений в 1982р. Ця мережа зіграла роль "зародка" всесвітньої мережі Internet, побудованої на базі протоколів TCP / IP.

У 1984 р міжнародна організаціями зі стандартизації ISO запропонувала модель взаємодії відкритих систем OSI (Open System Interconnection), що є зручним засобом опису стеків протоколів.

Серед основних мережевих моделей існують дві: модель OSI і модель TCP/IP. Іноді можна зустріти їх як теоретичну і практичну моделі. Вони є багаторівневими, що означає чітке розбиття на окремі рівні. Як сказано вище, кожному рівню чітко приписані функції, які в межах однієї моделі не повторюються. Таким чином модель OSI розбита на 7 рівнів, а модель TCP / IP на 4 рівні[7].

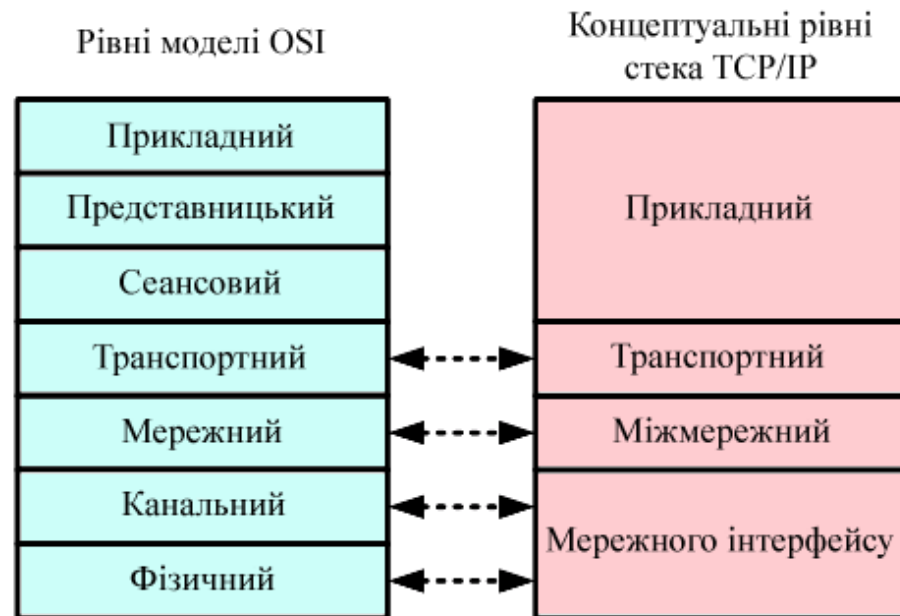


Рисунок 2.2 - Рівнів архітектури протоколів TCP / IP і 7 рівнів архітектури OSI

Моделі так зображені не дарма. По-перше, рівні моделі OSI досить часто згадують за номерами (вони пронумеровані знизу вгору), в той час як рівні моделі TCP / IP називають по іменах. А друге - це те, що модель TCP / IP можна описати термінами OSI. Як показано, обидві моделі мають ідентичні рівні Transport і Internet (Network), на які покладено відповідно однакові завдання. Але, наприклад, модель TCP / IP не розрізняє межі між фізичним представленням сигналів, бітів на проводах (або в іншому середовищі передачі даних) і способом доступу до тих самих проводах. Об'єднання канального і фізичного рівнів моделі OSI в єдиний мережевий рівень TCP / IP було обумовлене вимогою незалежності від використовуваного середовища передачі даних. Справа в тому, що функції протоколів канального і фізичного рівнів реалізуються в даний час, як правило, єдиними технічними засобами (мережевими контролерами).

OSI детально описує процес спілкування двох додатків, а також взаємозв'язок між сусідніми рівнями. Щоб зрозуміти, що ж все-таки це означає,

розглянемо ближче кожен рівень. Рівні можна розглядати з точки зору відправлення даних або отримання даних. Простіше кажучи зверху вниз або знизу вгору відповідно. Модель спроектована так, що якщо розглядати відправку повідомлення будь-яким додатком, то воно проходить за рівнями з самого верху і до самого низу. Для прийому повідомлення все з точністю навпаки[7].

Модель взаємозв'язку відкритої системи (OSI) концептуально ілюструє сім абстрактних рівнів комунікаційної структури, які пристрої використовують для взаємодії в мережі. У 1980-х роках ця модель була загальноновизнаною стандартною структурою для мережевих комунікацій.

Модель визначає набір правил і норм, необхідних для забезпечення сумісності між різними програмними засобами та пристроями.

Він був представлений Інтернет-організацією стандартів у 1984 році, коли комп'ютерні мережі лише ставали новою концепцією. Навіть незважаючи на те, що Інтернет сьогодні базується на простішій моделі мережі TCP/IP. 7-рівнева модель OSI все ще використовується для візуального уявлення архітектури мережі та усунення проблем. Модель OSI розділена на сім рівнів для представлення архітектури мережі. Кожен рівень виконує свій власний набір завдань і спілкується з рівнями вище і нижче для здійснення успішної передачі по мережі[6].

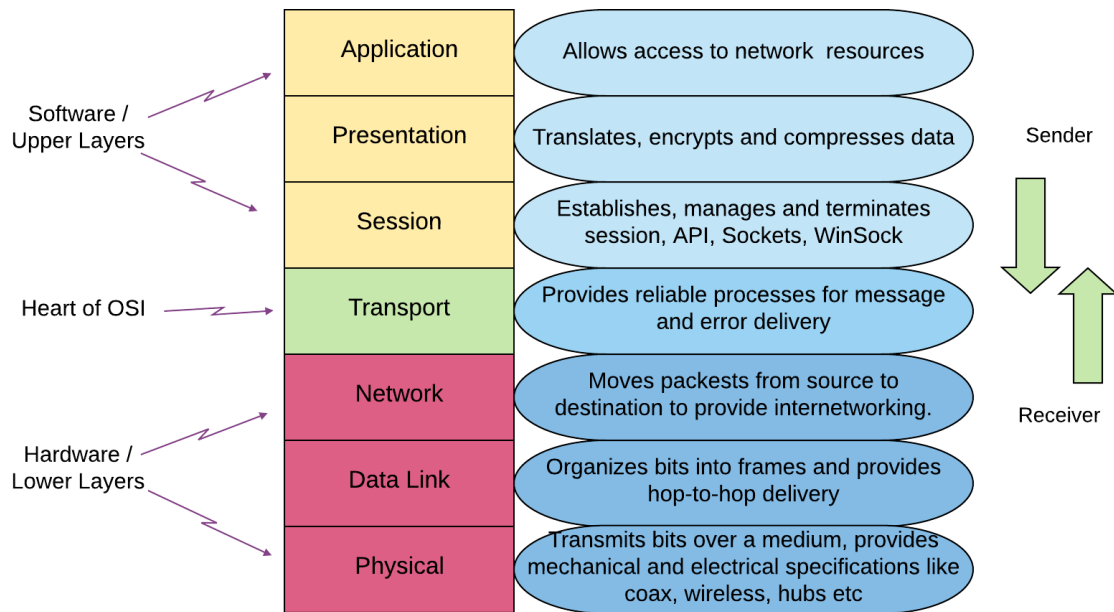


Рисунок 2.3 - Модель взаємозв'язку відкритих систем (модель OSI)

7. Прикладний рівень

Це єдиний рівень, який передбачає пряму взаємодію з даними від кінцевого користувача. Іншими словами, цей рівень забезпечує взаємодію між людиною та комп'ютером, так що веб-браузери або програми електронної пошти покладаються на нього для забезпечення зв'язку. Таким чином, програми покладаються на рівень, щоб використовувати його протокол і служби обробки даних для передачі корисної інформації. Деякі з найпоширеніших протоколів прикладного рівня – HTTP, SMTP (увімкнено зв'язок електронною поштою), FTP, DNS тощо[6].

6. Рівень презентації

Цей рівень готує дані для прикладного рівня, враховуючи, що програма приймає та вимагає кодування, шифрування, форматування або семантику. Він отримує вхідні дані з рівня під ним і переводить їх у зрозумілий для програми синтаксис. Таким чином, він готує дані та робить їх презентабельними для правильного використання прикладним рівнем. Він також отримує дані від

прикладного рівня та стискає їх для передачі через сеансовий рівень. Процес стиснення мінімізує розмір даних, що оптимізує ефективність і швидкість передачі даних[7].

5. Сеансовий рівень.

Як випливає з назви, сеансовий рівень відповідає за створення каналу зв'язку між пристроями, що називається сеансом. Цей рівень утримує канал зв'язку відкритим достатньо довго для успішного та безперебійного обміну даними. Згодом після завершення передачі він припиняє сеанс, щоб уникнути втрати ресурсу[7].

Сеансовий рівень також пропонує контрольні точки для синхронізації передачі даних. Таким чином, рівень може відновити передачу сеансу з певних контрольних точок, якщо вона була призупинена або перервана між ними, замість того, щоб передавати повністю з нуля. Він також відповідає за автентифікацію, а також за повторне підключення[7].

4. Транспортний рівень

Четвертий рівень моделі OSI відповідає за наскрізний зв'язок. Він отримує дані від сеансового рівня, розбиває їх на менші біти на кінці передачі, які називаються сегментами, і надсилає їх на мережевий рівень. Транспортний рівень також відповідає за послідовність і повторне збирання сегментів на приймальному кінці[7].

З боку відправника він також відповідає за забезпечення потоку та контроль помилок для передачі даних. Контроль потоку визначає оптимальну необхідну швидкість зв'язку, щоб передавач зі стабільним і швидшим з'єднанням не переповнював приймач з відносно повільнішим з'єднанням. Він гарантує, що дані надсилаються правильно та повністю через контроль помилок. Якщо ні, він запитує повторну передачу[7].

3. Мережевий рівень

Мережевий рівень відповідає за отримання сегментів від транспортного рівня та поділ їх на ще менші одиниці, які називаються пакетами. Ці пакети потім збираються на пристрої-одержувачі. Мережевий рівень доставляє дані до призначених місць на основі адрес, знайдених у цих пакетах.

Він виконує логічну адресацію, щоб знайти найкращий можливий фізичний маршрут для передачі пакету. На цьому рівні маршрутизатори відіграють дуже важливу роль, оскільки вони однозначно ідентифікують кожен пристрій у мережі. Процес називається маршрутизацією[7].

2. Канальний рівень

Канальний рівень виконує роботу з підтримки та припинення зв'язку між двома фізично підключеними вузлами. Він розділяє пакети, отримані від джерела, на кадри перед тим, як відправити їх до місця призначення. Цей рівень відповідає за внутрішньомережевий зв'язок.

Канальний рівень має два підрівні. Перший — це контроль доступу до медіа (MAC), який відтворює контрольний потік за допомогою MAC-адрес і мультиплексів для передачі пристроїв через мережу. Logical Link Control (LLC) контролює помилки, ідентифікує рядки протоколу та синхронізує кадри[6].

1. Фізичний рівень

Найнижчим рівнем цієї моделі є фізичний рівень. Рівень відповідає за оптичну передачу даних між підключеними пристроями. Він передає необроблені дані у вигляді бітових потоків з фізичного рівня пристрою-відправника на фізичний рівень пристрою-одержувача, визначаючи швидкість передачі бітів. Таким чином, він виконує бітову синхронізацію та контроль бітової швидкості. Оскільки його називають «фізичним» рівнем, він включає фізичні ресурси, такі як кабелі, мережеві модеми або концентратори, повторювачі або адаптери тощо[7].

2.3 Архітектурні підходи до побудови мережі

Архітектура мережі стосується способу, у який мережеві пристрої та служби структуровані для задоволення потреб підключення клієнтських пристроїв[8].

- Мережеві пристрої зазвичай включають комутатори та маршрутизатори.
- Типи послуг включають DHCP і DNS.
- Клієнтські пристрої включають пристрої кінцевих користувачів, сервери та розумні речі.

Комп'ютерні мережі будуються для задоволення потреб своїх клієнтів.

Нижче описано три типові корпоративні мережі:

- Мережі доступу для студентських містечок і філій побудовані для того, щоб залучати користувачів і речі, наприклад, підключати співробітників в офісній будівлі.
- Мережі для центрів обробки даних з'єднують сервери, на яких розміщені дані та програми, і роблять їх доступними для користувачів.
- Глобальні мережі (WAN) з'єднують користувачів із програмами, іноді на великих відстанях, наприклад, з'єднують працівників лікарень із програмами охорони здоров'я.

Ці та всі інші мережі стикаються з різними загрозами безпеці, від яких їм потрібно захищатися. Щоб задовольнити ці різноманітні вимоги, усі типи мереж мають унікальну архітектуру[8].

Сьогодні, щоб задовольнити гострі потреби, викликані технологічним прогресом та ініціативами цифрової трансформації, мережі покликані робити більше[8].

Мережі доступу мають розпізнавати, автентифікувати та авторизувати користувальницькі пристрої та інтелектуальні пристрої, перш ніж підключити

їх. Мережі центрів обробки даних потребують підключення додатків у кількох центрах обробки даних і хмарах. Глобальні мережі повинні мінімізувати витрати та покращити взаємодію з користувачами під час обслуговування розподілених програм для розподілених користувачів[8].

Мережі також мають бути динамічними, гнучкими та відповідати потребам бізнесу. Традиційні, інтенсивні вручну методи керування комп'ютерними мережами виявляються нежиттєздатними. Потрібні нові підходи, які вимагають трансформаційних змін у архітектурі мереж.

У промисловості зараз використовуються архітектури, які полегшують тягар побудови та підтримки комп'ютерних мереж для цифрової епохи. Cisco пропонує повний набір сучасних мережевих архітектур для доступу, WAN, центрів обробки даних і хмари[8].

Intent-based networking (IBN) - Мережа на основі намірів приймає бажані результати організації на високому рівні як вхідні дані та налаштовує мережу для досягнення цих цілей. Це досягається шляхом значної автоматизації операцій, аналізу продуктивності мережі, визначення проблемних зон, забезпечення повної безпеки та інтеграції з бізнес-процесами[8].

Controller-led - Мережеві контролери є основою для мереж на основі намірів і мають важливе значення для масштабування та захисту мереж у цифрову еру. Контролери значно спрощують операції та допомагають організаціям швидко реагувати на зміни бізнес-вимог. Вони автоматизують мережеві функції, перетворюючи бізнес-наміри на конфігурації пристроїв, і постійно контролюють мережеві пристрої, щоб забезпечити продуктивність і безпеку[8].

Multidomain- Кілька мереж на підприємстві спілкуються одна з одною через свої контролери. Такі міжмережні або багатодоменні інтеграції зазвичай передбачають обмін відповідними робочими параметрами, щоб забезпечити досягнення бажаних бізнес-результатів, які охоплюють домени мережі[7].

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) отримали широке поширення і використовуються як у військових, так і в цивільних цілях. Однак співпраця малих, середніх і великих БПЛА в мережі здатні ще більше покращити продуктивність і зону покриття. Попереду багато нових викликів, які необхідно вирішити. Одне з них це широке впровадження гетерогенних літаючих спеціалізованих мереж на базі кількох БПЛА (FANET), включаючи формування стабільної структури мережі. Потрібно розробити ефективний алгоритм вибору та управління шлюзом. Контроль стійкості ієрархічної мережі БПЛА гарантує ефективну співпрацю дронів.

БПЛА оснащені засобами радіозв'язку і оснащенні безпілотними автономними програми керування польотом, які активно розробляються навколо у світі. Враховуючи їх низьку вартість, гнучкі можливості маневрувати та безпілотну роботу, БПЛА отримали широке поширення.

Враховуючи нещодавній прогрес у сфері вбудованих систем, мікросхемотехніки і значний прогрес у масштабах інтеграції зробило економічно вигідним виробництво недорогих малих, середніх дронів. Однак їх невисока навантажувальна здатність і невисокі крейсерські можливості обмежують функціональність одного БПЛА. Один БПЛА, що працює ізольовано, зазвичай спілкується із землею або з ретрансляційною станцією. Міжміський радіозв'язок накладає великі затримки поширення, високий коефіцієнт втрат пакетів і високу потужність споживання. Причому, якщо цей єдиний канал спілкування пошкоджено, вся система зв'язку стає паралізованим. Таким чином, вигідно взаємодіяти з кількома БПЛА для створення мережі, яка має сумарну потужність більшу ніж потужність одного дрона.

На відміну від класичних мобільних ad hoc мереж (MANETs) і автомобільних спеціальні мережі (VANET), мобільність і спритність польоту системи БПЛА мають серйозний вплив на їх мережеві технології. Вчені пропонують двошаровий повітряно-наземний кооператив мережевої

архітектури, де кілька БПЛА утворюють одну повітряну підмережу, яка допомагає наземній транспортній підмережі через зв'язок БПЛА-БПЛА та БПЛА-земля. БПЛА діють як проміжні станції, завдяки своїй високій рухливості, можуть утворювати нову структуру мережі для подальшого функціонування. Багатокomпонентна система БПЛА була вперше запропонована на основі концепції FANET, де мережево-орієнтована методологія надала БПЛА здатність самостійно позиціонуватися для ідеального підключення та співпраці з іншими БПЛА для досягнення найкращого покриття. На рисунку 2.4 зображено систему з кількома БПЛА, яка створена з наземних станцій, наземних або бортових ретрансляційних станцій і віддалених станції моніторингу мережі як зворотного зв'язку.

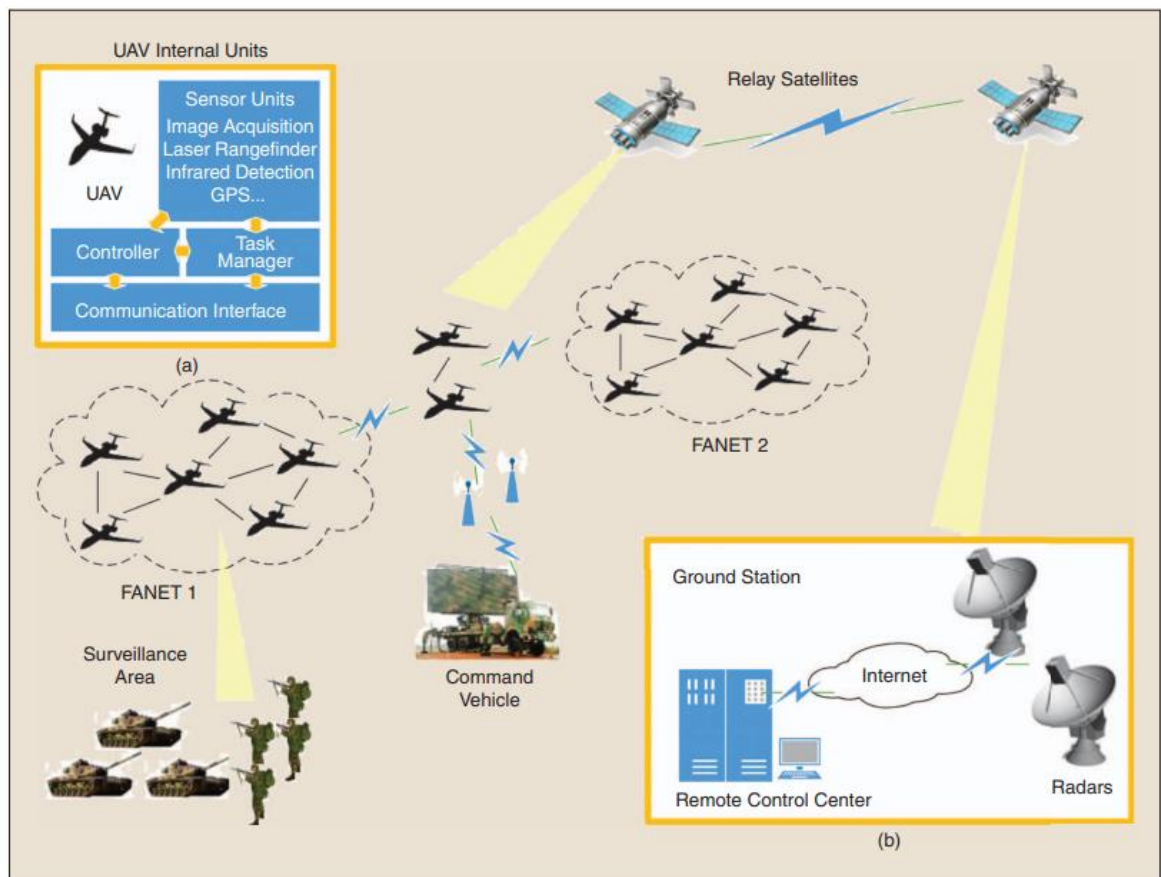


Рисунок 2.4 - Архітектура мережі з кількома БПЛА та необхідні внутрішні блоки БПЛА

Основні переваги мережі БПЛА над мережею одного БПЛА є наступними.

Підвищує досяжну ефективність передачі: потужність передачі інформації БПЛА, швидкість обробки та здатність реагування на покращення або погіршення якості передачі. Дозволяє розширити діапазон повітряного спостереження. У випадку, коли основний канал ретрансляції стикається, для забезпечення безперебійного зв'язку, пакети передаються іншими БПЛА під керуванням наземної станції. Крім того, завдяки координації та співпраці кількох безпілотників, мережа з декількома БПЛА демонструє покращені можливості попередньої обробки інформації та кращу ефективність передачі.

Підвищується живучість: мережа кількох БПЛА має високий рівень надійності і може бути побудована в будь-який час і в будь-якому місці. Навіть якщо одні вузли БПЛА піддаються атаці, інші можуть реконструювати мережу та автоматично вибирати оптимальний маршрут для виконання своїх завдань. Іншими словами, функція ad hoc, розподілена структура та резервування вузлів покращує живучість системи.

Дозволяє самоорганізовуватися та адаптуватися: Multi-UAV мережі, що спираються на сітчасті мережі, здатні до самореорганізації. Це означає, що мережа з кількома БПЛА є стійкою до збою вузла.

Забезпечують високу енергоефективність: БПЛА більш компактні за розмірами, оскільки кожен безпілотник може виконувати свої певні функції. Один БПЛА оснащений великою кількістю камер для якісного моніторингу навколишнього стану, інший оснащений великою кількістю вибухової речовини і тд. Не великі розміри призводять до низького енергоспоживання. Крім того, діючи злагоджено, споживання електроенергії системою можна зменшити до мінімуму, реалізуючи функції сплячого режиму і складні схеми розподілу живлення.

Дозволяє зручну масштабованість: враховуючи різні вимоги місії, система з декількома безпілотниками здатний змінювати архітектуру мережі

або додавання додаткових вузлів БПЛА для досягнення необхідної потужності системи.

Мережа БПЛА покращує досяжну вантажопідйомність і крейсерську здатність. Крім того, використання різних датчиків і різноманітних стратегій доставки даних надає значну перевагу.

Хоча мережа з кількома БПЛА має деякі значні переваги перед системою з одним БПЛА, мережа з кількома БПЛА має певні проблеми. Швидко мінлива топологія та мережеві елементи (БПЛА), які постійно змінюють свій порядок спричинили проблему розробки вигідних схем маршрутизації для зв'язку БПЛА з БПЛА.

Архітектури протоколів для мереж БПЛА. По суті, FANET можна розглядати як локальні мережі БПЛА, де протоколи зв'язку відіграють важливу роль у забезпеченні безперебійної роботи передавання даних. Враховуючи безліч корисних застосувань FANET, як-от збору інформації та передачі даних, вони можуть бути розглядається як чотирирівнева мережа, яка складається з фізичного, каналного мережевого і транспортного рівнів. Існує дві основні архітектури протоколу для ad hoc мережі. Один заснований на традиційному TCP/IP, який є модифікацією або розширенням TCP/IP, а інший базується на парадигмі DTN. Архітектура DTN була спеціально розроблена для роботи з посиланнями з великою затримкою. Завдяки функціям тривалого зберігання та пересилання інформації DTN протокол спочатку був розроблений для міжпланетних мереж, але також використовувався для супутникових мереж, MANET і FANET. Ці протоколи є легкі у застосовуванні для мережі БПЛА.

2.4 Побудова тестової системи і оцінка якості передачі відео

Передача даних за допомогою радіорелейного зв'язку у телекомунікаціях передбачає надсилання та отримання мікрохвильових сигналів через

радіорелейну лінію зв'язку. Вона складається з низки радіорелейних антен. Зазвичай вони розташовані на вершині щогл, будівель. Тобто на максимально високій точці в певній ділянці.

Радіорелейна лінія зв'язку – це система зв'язку, яка за допомогою радіосигналів виконує передачу даних між двома чи більше фіксованими точками. Кілька радіорелейних каналів складають радіорелейну мережу.

Радіорелейні канали зв'язку використовуються для зв'язку «точка-точка». Мала довжина їхніх хвиль дозволяє антенам направляти їх вузькими пучками. Промені можуть бути спрямовані безпосередньо на приймальну антену.

Це дозволяє сусіднім радіорелейним приладам використовувати однакові частоти, не заважаючи один одному, як це роблять радіохвилі з нижчою частотою. Ще одна перевага радіорелейного зв'язку полягає в тому, що вища частота радіохвиль забезпечує мікрохвильовому діапазону дуже велику ємність передачі інформації.

Мікрохвильова передача вважається технологією прямої видимості. Це пояснюється тим, що для належного функціонування мікрохвильової передачі потрібен порожній повітряний простір. У повітряному просторі між двома мікрохвильовими вежами типу «точка-точка» не повинно бути гір, будівель та інших об'єктів. Ці перешкоди можуть блокувати мікрохвильові сигнали.

Ця бездротова технологія використовує високочастотні промені радіохвиль для забезпечення високошвидкісних з'єднань, які можуть надсилати та отримувати голосову, відео та інформацію про дані.

Використання радіорелейної системи передачі на великі відстані обмежено потребою в необхідності чіткої лінії видимості. Радіопередавачам також може заважати атмосфера та згасання дощу. З цих причин мікрохвильова передача зазвичай використовується лише в областях, де немає локальної мережі або інших транспортних систем передачі даних.

Радіорелейні канали широко використовуються для підключення в сучасних цифрових IP-мережах. З пропускною спроможністю до 6 Гбіт/с і більше сучасна мережа може забезпечувати пропускну здатність надійним, економічно ефективним і гнучким способом – без перебоїв і затримок, спричинених розкопуванням вулиць, і уникаючи дорогих альтернативних варіантів орендованої лінії, орендованого оптоволокна.

Мікрохвильова радіопередача зазвичай використовується в системах зв'язку «точка-точка» на поверхні Землі, у супутниковому зв'язку та в радіозв'язку в далекому космосі. Інші частини мікрохвильового радіодіапазону використовуються для радарів, радіонавігаційних систем, сенсорних систем і радіоастрономії.

Верхню частину електромагнітного радіоспектру з частотами вище 30 ГГц і нижче 100 ГГц називають «міліметровими хвилями», оскільки їх довжини хвиль зручно вимірювати в міліметрах, а їхні довжини хвиль варіюються від 10 мм до 3,0 мм. Радіохвилі в цьому діапазоні зазвичай сильно послаблюються земною атмосферою та частинками, що містяться в ній, особливо під час вологої погоди. Крім того, у широкому діапазоні частот близько 60 ГГц радіохвилі сильно послаблюються молекулярним киснем в атмосфері. Електронні технології, необхідні в міліметровому діапазоні хвиль, також набагато складніші та важчі у виробництві, ніж у мікрохвильовому діапазоні, тому вартість радіоприймачів міліметрового діапазону зазвичай вища.

Сучасні мікрохвильові канали можуть передавати до 400 Мбіт/с у каналі 56 МГц, використовуючи методи модуляції 256QAM і стиснення заголовків IP. Робочі відстані для мікрохвильових каналів зв'язку визначаються розміром антени (коефіцієнт посилення), діапазоном частот і пропускною здатністю каналу зв'язку. Наявність чіткої прямої видимості має вирішальне значення для мікрохвильових каналів, для яких також необхідно враховувати кривизну Землі.

У наземних мікрохвильових лініях зв'язку схема рознесення відноситься до методу підвищення надійності сигналу повідомлення шляхом використання двох або більше каналів зв'язку з різними характеристиками. Рознесеність відіграє важливу роль у боротьбі із завмиранням і перешкодами в одному каналі та уникненні спалахів помилок. Він заснований на тому факті, що окремі канали відчують різні рівні завмирання та перешкод. Кілька версій одного сигналу можуть передаватися та/або прийматися та об'єднуватися в приймачі. Як альтернатива, може бути доданий надлишковий код прямої корекції помилок і різні частини повідомлення передані різними каналами. Методи рознесення можуть використовувати багатопроменевість розповсюдження, що призводить до посилення рознесення, яке часто вимірюється в децибелах.

Незахищені: мікрохвильові канали, де немає рознесення або захисту, класифікуються як незахищені, а також як 1+0. Встановлено один набір обладнання, без різноманітності чи резервного копіювання

Гаряче резервування: два комплекти мікрохвильового обладнання (ODU або активні радіоприймачі) зазвичай підключаються до однієї антени, налаштованої на той самий частотний канал. Один «вимкнено» або перебуває в режимі очікування, як правило, з активним приймачем, але звук передавача вимкнено. Якщо активний блок виходить з ладу, він вимикається, а резервний блок активується. Гаряче резервування скорочено називається HSB і часто використовується в конфігураціях 1+1 (один активний, один резервний).

Частотне рознесення: сигнал передається за допомогою кількох частотних каналів або поширюється на широкий спектр, на який впливає частотно-селективне завмирання. Мікрохвильові радіолінії часто використовують декілька активних радіоканалів плюс один захисний канал для автоматичного використання будь-яким каналом із затуханням. Це відоме як захист N+1

Просторове рознесення: сигнал передається декількома різними шляхами розповсюдження. У разі дротової передачі цього можна досягти шляхом

передачі через кілька проводів. У разі бездротової передачі це може бути досягнуто рознесенням антен із використанням кількох антен-передавачів (рознесення передачі) та/або кількох приймальних антен (рознесення прийому).

Різноманітність поляризації: кілька версій сигналу передаються та приймаються через антени з різною поляризацією. На стороні ствольної коробки застосовано техніку рознесеного комбінування.

Головною задачею тестової системи передачі високоякісного відео з використанням безпілотного літального апарату є налаштування, встановлення зв'язку виду точка-точка, та дослідження характеристик каналу зв'язку значної відстані (>10 км) на основі цифрової радіорелейної лінії (РРЛ), побудованої за стандартами IEEE 802.11, що зазвичай використовуються для безпроводового зв'язку виду точка-багатоточка локального всенаправленого покриття радіусом до кількох сотень метрів.

Завданням дослідження є вимірювання характеристик каналу зв'язку в польових умовах при використанні приймально-передавального обладнання стандартів IEEE 802.11, а саме – Mikrotik LHG XL 52 ac, за схемою «точка-точка», довжиною траси РРЛ – 12 км, та порівняння теоретичних і практичних результатів оцінки траси РРЛ.

Схема підключення прийомопередавачів РРЛ Mikrotik та кінцевих терміналів з IP-адресами показана на рис. 2.5

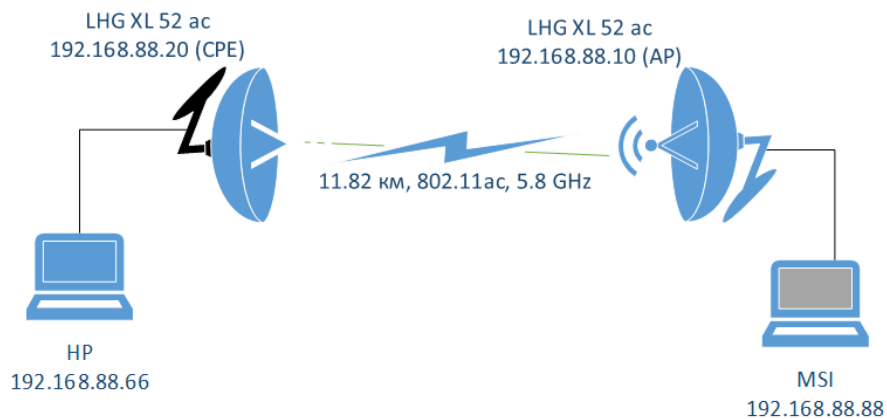


Рисунок 2.5 - Схема підключення вузлів РРЛ

2.5 Висновки до розділу 2

У даному розділі було описано телекомунікаційну складову даного проекту, описано протоколи взаємодії, розглянуто архітектурні підходи для побудови мережі з використанням БПЛА. Для керування безпілотним літальним апаратом потрібно встановити з'єднання БПЛА і наземною станцією. Для вирішення такої задачі потрібно використовувати телекомунікаційні засоби. Технічні засоби телекомунікацій, призначені для комутації, маршрутизації, приймання та/або передавання знаків, сигналів, відео, зображень, звуків, письмового тексту або повідомлень будь-якого роду по дротових, бездротових, оптичних чи інших електромагнітних системах між кінцевими обладнаннями. Саме якісна і швидка передача даних відіграє важливу роль у функціонуванні загальної системи. Існує велика кількість протоколів взаємодії. Серед основних мережевих моделей існують дві: модель OSI і модель TCP/IP. Для кожного рівню мережевої моделі було розроблено та описано свої протоколи взаємодії. В даній роботі для організації радіорелейного прольоту буде використовуватися приймально-передавальне обладнання Mikrotik LHG XL 52 ac, яке застосовується для побудови двосмугових РРЛ для відстаней порядку кількох десятків кілометрів. LHG XL 52 ac забезпечує саме це завдяки своїм двосмуговим можливостям: можна налаштувати канал 5 ГГц як основний зі швидкістю до 600 Мбіт/с і використовувати канал 2,4 ГГц як автоматичне резервне з'єднання зі швидкістю до 260 Мбіт/с. Створена тестова система передачі високоякісного відео з використанням безпілотного літального апарату - це налаштування, встановлення зв'язку виду точка-точка, та дослідження характеристик каналу зв'язку значної відстані (>10 км) на основі цифрової радіорелейної лінії (РРЛ), побудованої за стандартами IEEE 802.11, що зазвичай використовуються для безпроводового зв'язку виду точка-

багаточка локального всенаправленого покриття радіусом до кількох сотень метрів.

3 ДИЗАЙН АРХІТЕКТУРИ І ПОБУДОВА РЕАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ВИСОКОЯКІСНОГО ВІДЕО З БЕЗПЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ

3.1 Опис компонентів системи

Приймально-передавальне обладнання Mikrotik LHG XL 52 ас застосовується для побудови двосмугових РРЛ для відстаней порядку кількох десятків кілометрів. LHG XL 52 ас забезпечує саме це завдяки своїм двосмуговим можливостям: можна налаштувати канал 5 ГГц як основний зі швидкістю до 600 Мбіт/с і використовувати канал 2,4 ГГц як автоматичне резервне з'єднання зі швидкістю до 260 Мбіт/с. Потужна 27 дБі 5 ГГц / 18 дБі 2,4 ГГц антена забезпечить направлене з'єднання з відстанню зв'язку до 40 км. Конструкція сітки антени забезпечує захист від вітру. Робочий діапазон температур: від -40 C° до $+70\text{ C}^{\circ}$. Елемент антени вбудований у безпроводовий блок, що забезпечує відсутність втрат на кабелях. Приймально-передавальний обчислювальний блок витримує великі навантаження завдяки чотирьохядерному процесору та 256 МБ оперативної пам'яті. Робоча частота (Максимальна вихідна потужність): 2400-2483.5 МГц (20 дБм), 5150-5250 МГц (23 дБм), 5250-5350 МГц (20 дБм), 5470-5725 МГц (27 дБм)[11].

Характеристики обладнання Mikrotik LHG XL 52 ac

В таблиці показано результати тестування, зазначені в специфікації обладнання.

Таблиця 3.1 - Результати тестування обладнання, зазначені в специфікації обладнання

RBLHGG-5HPacD2HPnD-XL		IPQ-4018 1G all port test					
Mode	Configuration	1518 byte		512 byte		64 byte	
		kpps	Mbps	kpps	Mbps	kpps	Mbps
Bridging	none (fast path)	162.5	1973.4	469.9	1924.7	1484.8	760.2
Bridging	25 bridge filter rules	162.1	1968.5	352.9	1445.5	359.2	183.9
Routing	none (fast path)	162.5	1973.4	469.9	1924.7	1488	761.9
Routing	25 simple queues	162.5	1973.4	469.9	1924.7	506.3	259.2
Routing	25 ip filter rules	162.2	1969.8	240.8	986.3	242.9	124.4

Таблиця 3.2 - Специфікація обладнання

Details	
Product code	RBLHGG-5HPacD2HPnD-XL
Architecture	ARM 32bit
CPU	IPQ-4018
CPU core count	4
CPU nominal frequency	716 MHz
Dimensions	Ø 550 x 291 mm
RouterOS license	3
Operating System	<u>RouterOS</u>
Size of RAM	256 MB
Storage size	16 MB
Storage type	FLASH
MTBF	Approximately 200'000 hours at 25C
Tested ambient temperature	-40°C to 70°C
IPsec hardware acceleration	Yes
Suggested price	\$189.00

Таблиця 3.3 - Специфікація живлення

Details	
Number of DC inputs	1 (PoE-IN)
Max power consumption	18 W
Max power consumption without attachments	16 W
FAN count	Passive
PoE in	802.3af/at
PoE in input Voltage	12-57 V

Таблиця 3.4 - Специфікація безпроводових інтерфейсів

Details	
Wireless 2.4 GHz Max data rate	300 Mbit/s
Wireless 2.4 GHz number of chains	2
Wireless 2.4 GHz standards	802.11b/g/n
Antenna gain dBi for 2.4 GHz	18
Wireless 2.4 GHz chip model	IPQ-4018
Wireless 2.4 GHz generation	Wi-Fi 4
Wireless 5 GHz Max data rate	867 Mbit/s
Wireless 5 GHz number of chains	2
Wireless 5 GHz standards	802.11a/n/ac
Antenna gain dBi for 5 GHz	27
Wireless 5 GHz chip model	IPQ-4018
Wireless 5 GHz generation	Wi-Fi 5

Таблиця 3.5 - Специфікація проводових інтерфейсів

Details	
10/100/1000 Ethernet ports	1

Таблиця 3.6 - Специфікація оптичних інтерфейсів

Details	
SFP ports	1

Таблиця 3.7 - Специфікація потужності передавача та чутливості приймача для різних сигнально-кодових конструкцій на частоті 2.4 ГГц

2.4 GHz	Transmit (dBm)	Receive Sensitivity
1MBit/s	29	-100
11MBit/s	29	-93
6MBit/s	31	-96
54MBit/s	27	-80
MCS0	31	-96
MCS7	26	-75

Таблиця 3.8 - Специфікація потужності передавача та чутливості приймача для різних сигнально-кодових конструкцій на частоті 5 ГГц

5 GHz	Transmit (dBm)	Receive Sensitivity
6MBit/s	30	-96
54MBit/s	26	-80
MCS0	30	-96
MCS7	25	-75
MCS9	23	-70

На рисунку 3.1 продемонстровано конструкцію безпілотного літального апарату, його візуальний вигляд. Також на рисунку 3.2 продемонстровано вигляд вбудованої камери, яка використовується для високоякісної відео передачі.

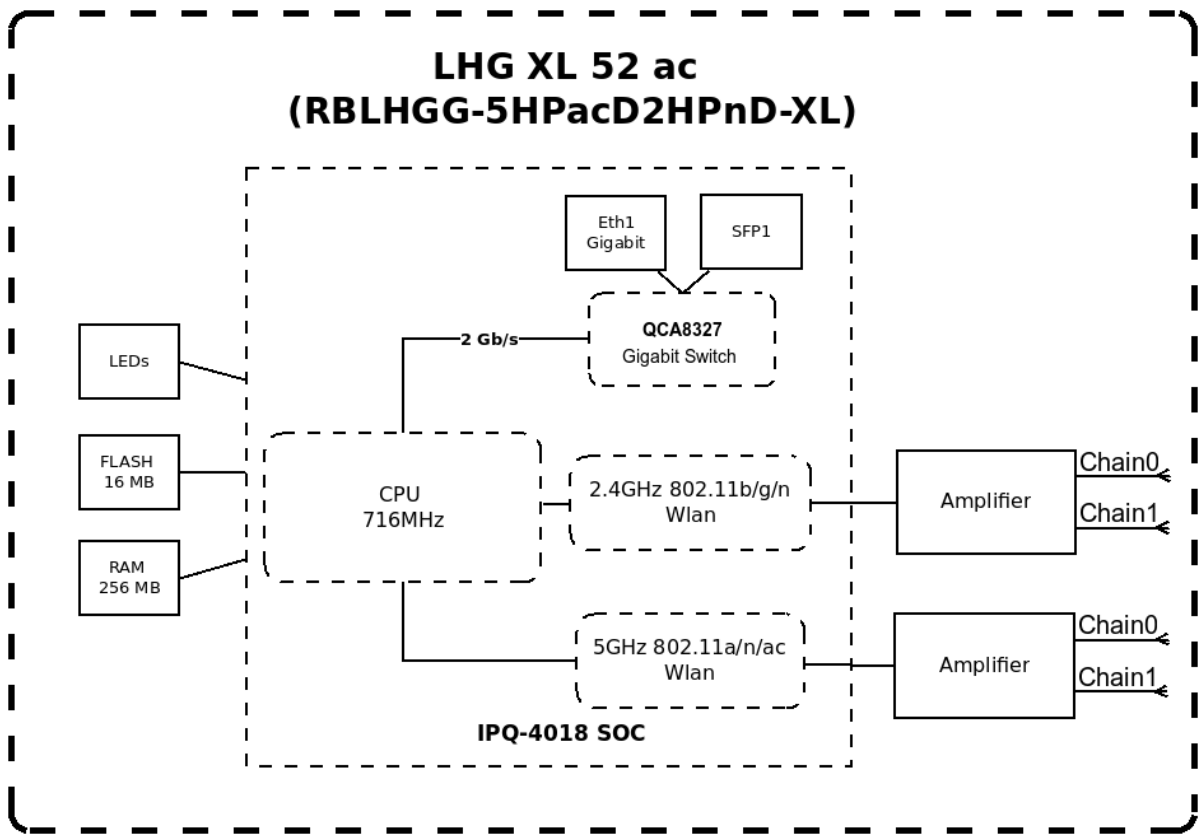


Рисунок. 3.1 - Структурна схема приймально-передавального блоку Mikrotik LHG XL 52 ac



Рисунок 3.2 - Будова безпілотного літального апарату (БПЛА)



Рисунок 3.3 - Вбудована камера в безпілотний літальний апарат для відеоспостереження

3.2 Побудова системи передачі високоякісного відео

Переваги безпілотних літальних апаратів (БПЛА) сприяли їх поширенню в багатьох сферах життя людини. БПЛА можуть бути використані як станції повітряного базування для забезпечення додаткової потужності та надійності існуючих систем стільникового зв'язку у разі виникнення надзвичайних ситуацій і також використовуватися в місцях регулювання громадської безпеки. З іншого боку, БПЛА також здатні виконувати роль повітряних мобільних терміналів, виконуючи відеоспостереження в реальному часі та діючи як ретранслятори зв'язку. Спостереження за допомогою БПЛА також дозволяє збирати тактичну інформацію про конкретні цілі. Однак у БПЛА характеристики передачі відеоданих суттєво відрізняються від характеристик пілотованих апаратів. Оскільки БПЛА можуть літати на сотні чи навіть тисячі

кілометрів, надійність відеозв'язку стає вирішальним питанням для безпеки та можливості виконання поставлених задач.

Потрібно також враховувати відносно високу складність стиснення відео та суворе обмеження електропостачання БПЛА, обробка зібраних даних є складним завданням. Крім того існують ситуації, як показано на рис 3.4, коли замість одного пункту призначення можуть існувати численні пункти призначення з різними вимогами щодо роздільної здатності знятого відео. Задоволення широкого діапазону технічних специфікацій і вимог користувача накладає значні проблеми на отримання, стиснення та передачу відео

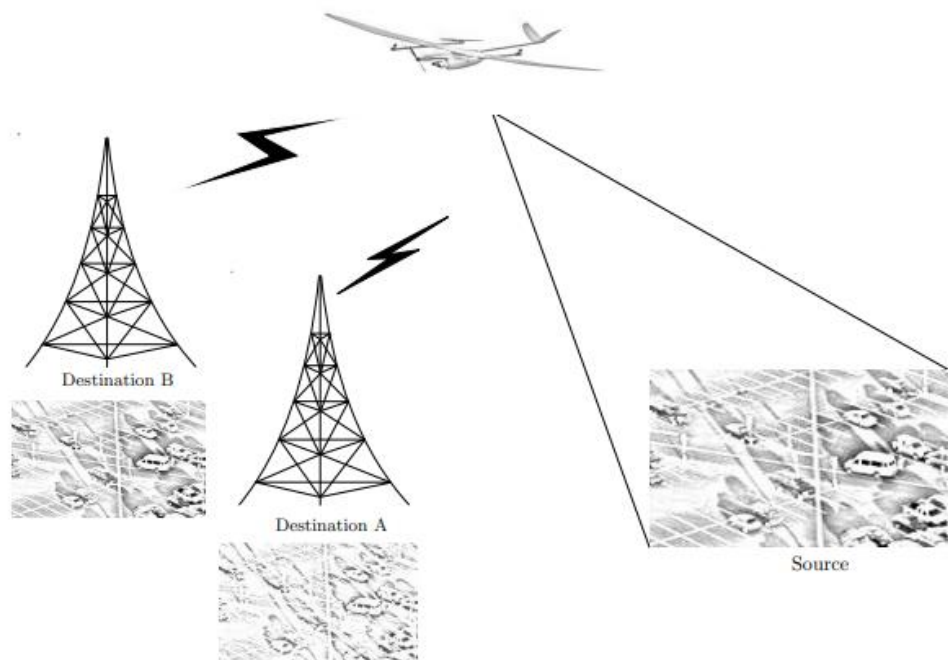


Рисунок 3.4 - Передача відео для спостереження з використанням БПЛА

За останні кілька десятиліть сімейство методів стиснення відео поступово еволюціонувало від H.261 до H.265/High Efficiency Video Coding (HEVC) і H.266/Versatile Video Coding (VVC). Scalable Video Coding (SVC) масштабоване кодування відео привернуло особливу увагу як потенційне рішення для

покращення якості. Однак ця масштабована конструкція залишалася відкритою проблемою через її обмежену ефективність кодування, а також через значну складність, доки не було розроблено стандарт H.264. H.264 нарешті вдалося значно покращити стиснення відео, досягнуте без значного збільшення складності кодування. Цю техніку масштабування було розширено до стандарту HEVC, який також називають розширенням масштабованості HEVC (SHVC).

У схемі передачі відео високої чіткості БПЛА канал з низькою затримкою є як відправником передачі відеоданих, так і приймачем відеоданих високої чіткості. Це ланка, яка з'єднує наземні та бортові модулі передачі всієї системи. Тому вибір інтерфейсу, який використовувати для передачі даних, залежить не тільки від точності та надійності даних, але також повинен забезпечувати вимоги передачі відео високої чіткості в реальному часі. У прикладному сценарії передачі відео з БПЛА, з метою подальшого зменшення впливу вибіркового завмирання частоти та часу на продуктивність системи, вчені відзначили, що технологію модуляції OFDM (мультиплексування з ортогональним частотним поділом) можна поєднати з кодуванням корекції помилок, вирівнюванням каналів, частотно-часове чергування та інші технології. Ці технології можуть покращити продуктивність передачі системи OFDM, зробити сигнал передачі здатним дифрагувати та проникати через перешкоду, а також можуть передавати відео в каналах поза межами прямої видимості (таких як типові міські канали) з багатьма перешкодами та відбивачі, але це також збільшить труднощі та складність проектування та реалізації системи. Зміщення частоти та фазовий шум матимуть серйозний вплив на систему OFDM. Завдяки використанню модуляції OFDM кожна піднесуча вимагає суворої ортогональності у часовій області. Зсув частоти, який виникає під час передачі сигналу, зробить ортогональність між піднесучими незадовільною, що призведе до різних ступенів інтерференції між піднесучими, а співвідношення сигнал/шум системи зменшиться. Тому перед демодуляцією

OFDM на приймальному кінці потрібна точна оцінка зміщення частоти та компенсація зсуву частоти. Відповідні вчені обговорювали модель авіаційного каналу та розділяли стан польоту літака на стоянку, наземне руління, зліт/прибуття та стан польоту на півдорозі. Кожен статус польоту з різним статусом польоту БПЛА вироблятиме різні умови каналу, такі як співвідношення енергії прямої траєкторії та траєкторії розсіювання, доплерівський спектр потужності тощо. Пряма складова переданого сигналу блокується в стані стоянки, що можна описати типовою моделлю каналу міського середовища; наземне руління, зліт/прибуття та стан польоту на півдорозі – це всі канали завмирання Райса, усі з яких мають сильні компоненти прямого огляду. Швидка зміна інтегральних електронних схем, технологій електронного зв'язку та комп'ютерних мереж призвела до швидкого розвитку систем передачі зображення. Висока продуктивність ПК завершує перетворення аналогових сигналів у цифрові, стискає їх і передає на віддалений комп'ютер; система передачі зображення, заснована на вбудованій технології, є більш компактною та гнучкою, ніж великий та громіздкий ПК.

Загальна платформа (кузов) БПЛА розглядається як механічна структура, яка зазвичай включає фюзеляж, крила, силову установку та авіаційну електроніку. Платформа слугує як основа всього БПЛА і призначена для розміщення на ній різних корисних елементів, наприклад камерами, додаткових сенсорних елементів, електроніки або іншого обладнання. При проектуванні безпілотного літального апарату потрібно враховувати різні параметри, такі як аеродинамічні властивості, потужність двигуна, вага. Найбільш практичний і найбільш раціональний варіант виготовлення БПЛА це з використанням фрезерних верстатів з ЧПУ (комп'ютеризоване числове керування) і 3D друк. Цей спосіб виготовлення відносно невисокої вартості і забезпечує бажану гнучкість фази проектування, дозволяє легко впровадити всі необхідні зміни.

В якості каналу зв'язку використовуємо приймально-передавальне обладнання Mikrotik LHG XL 52 ac. Це обладнання застосовується для побудови двосмугових РРЛ для відстаней порядку кількох десятків кілометрів. LHG XL 52 ac забезпечує саме це завдяки своїм двосмуговим можливостям: можна налаштувати канал 5 ГГц як основний зі швидкістю до 600 Мбіт/с і використовувати канал 2,4 ГГц як автоматичне резервне з'єднання зі швидкістю до 260 Мбіт/с. Максимальна швидкість на 5 ГГц буде забезпечена на відстані до 23 км, але в 2,4 ГГц – на відстані до 16 км.

Потужна антена має підсилення 27 дБі на частоті 5 ГГц і 18 дБі на частоті 2,4 ГГц. Завдяки сітчастій конструкції антена має невелику вагу і гарний вітрозахист. Вона витримує температуру від -40 до +70°C.



Рисунок 3.5 - Зображення антени Mikrotik LHG XL 52 ac

Під кришкою випромінювача розташований один гігабітний порт Ethernet і один оптичний SFP порт. Живлення подається на пристрій через порт Ethernet за допомогою PoE інжектора, який входить в комплект поставки. Підтримуються стандарти Passive PoE та 802.3af/at, тому існує можливість

подати живлення на точку доступу від PoE комутатора або від іншого активного обладнання.



Рисунок 3.6 - Зображення портів Mikrotik LHG XL 52 ac

Зазвичай MikroTik LHG XL 52 ac кріпиться на трубу або щоглу за допомогою кріплення зі скобою. Дане кріплення дозволяє регулювати кут нахилу антени. У нашому випадку потрібно прикріпити певним надійним способом до корпусу безпілотного літального апарату.



Рисунок 3.7 - Кріплення обладнання Mikrotik LHG XL 52 ac на трубі

Схема підключення прийомопередавачів РРЛ Mikrotik та кінцевих терміналів з IP-адресами показана на рис. 3.8

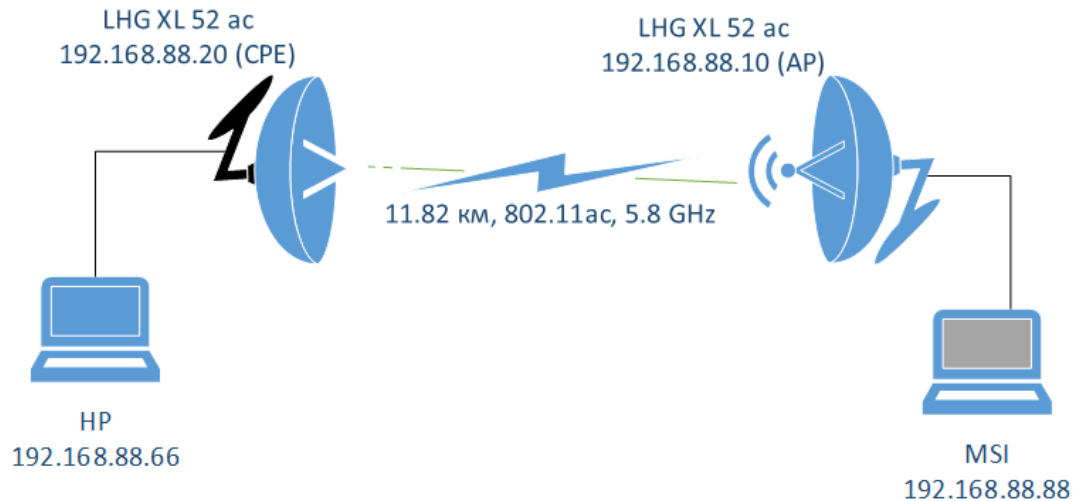


Рисунок 3.8 - Схема підключення вузлів РРЛ

За допомогою інструменту математичного моделювання https://www.ve2dbe.com/rmonlie_s.asp проведено оцінку траси РРЛ на основі характеристик обладнання та географічного положення вузлів РРЛ[10].

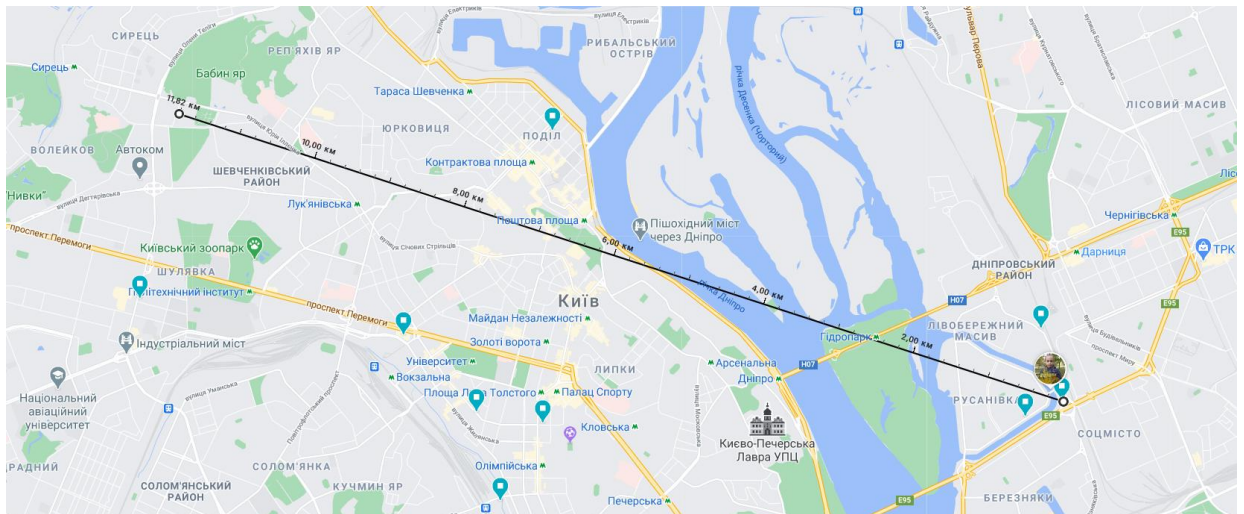


Рисунок 3.9 - Траса РРЛ на мапі м. Києва (google maps)

Як показано на Рис. 3.9, загальна відстань траси становить 11,82 км, де один вузол РРЛ розташований на Київській телевежі, а другий вузол РРЛ – на лівому березі м. Києва, район Русанівки, за адресою проспект Соборності, 30-А.

На рис. 3.10 показано профіль траси РРЛ із зонами Френеля, де чітко видно, що на трасі немає перешкод для розповсюдження електромагнітної хвилі між вузлами РРЛ[10].

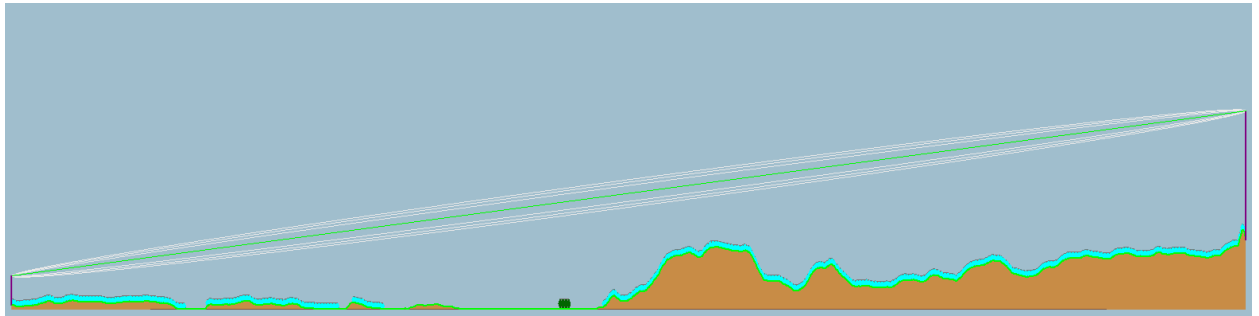


Рисунок 3.10 - Профіль РРЛ

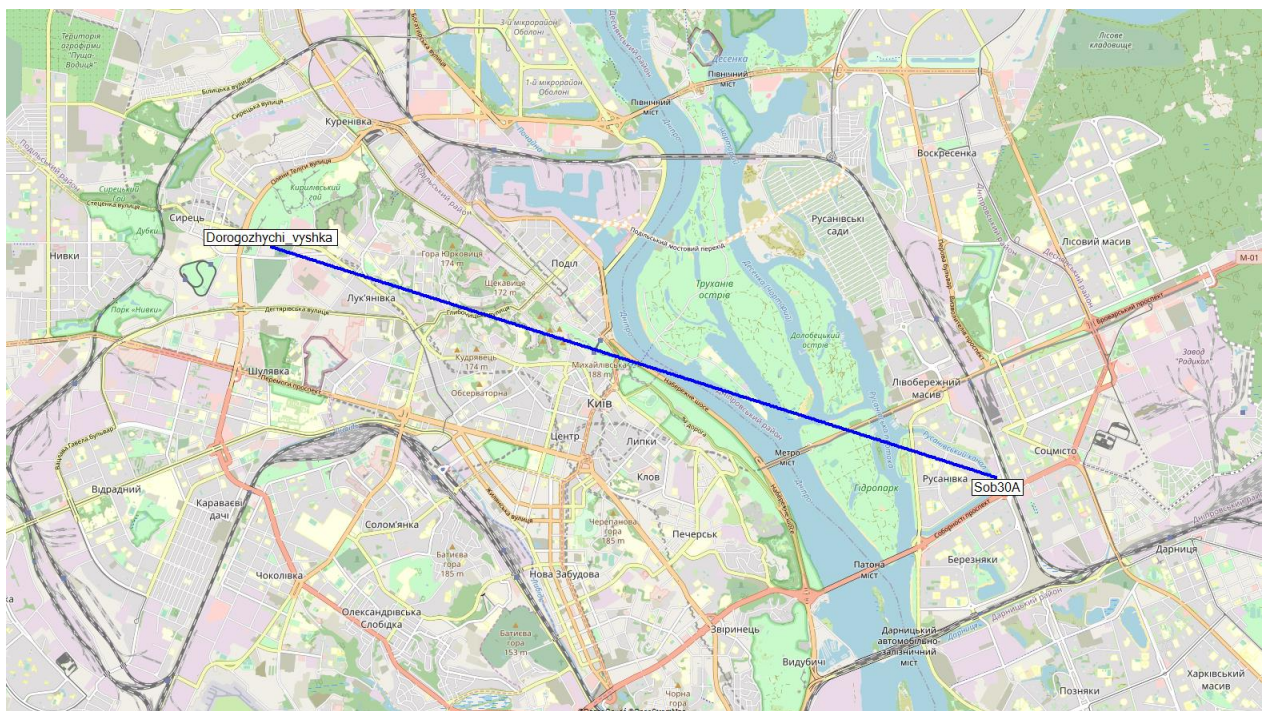


Рисунок 3.11 - Траса РРЛ на мапі м. Києва (мапа в інструменті моделювання https://www.ve2dbe.com/rmonline_s.asp)

3.3 Оцінка показників якості передачі

Сьогодні користувацький досвід відіграє важливу роль та стає одним з основних показником для постачальників послуг і телекомунікаційних операторів, які забезпечуть передачу загальне стабільне функціонування системи (клієнт, термінал, мережа, інфраструктура послуг, кодування медіа тощо). Для збільшення клієнтської бази різні оператори мереж і постачальники послуг повинні виконувати усі необхідні дії для стабільного і якісного функціонування різних систем. Щоб виконати ці вимоги, їм потрібна ефективна якість.

Моніторинг та оцінка досвіду (QoE). QoE – це суб’єктивний показник, який стосується користувача сприйняття та може змінюватися залежно від очікувань користувача та контексту. Крім того, QoE оцінка є дорогою та займає багато часу, оскільки вимагає участі людини. Одним із основних набором методів управління ресурсами пакетних мереж є QoS (Quality of service, укр. Якість обслуговування)

У сучасному світі підприємства та промислові об’єкти використовують багато програм, таких як VoIP, віддалений моніторинг і відеоспостереження, які не терплять затримок. Застаріла конструкція IP-мережі здійснюється за принципом «перший прийшов, першим вийшов», що часто означає затримки. Ось тут і з’являється якість обслуговування (QoS).

QoS невід’ємною частиною бізнес-мереж є QoS. Мова йде не лише про якість зв’язку та VoIP, але й про те, як ви отримуєте доступ до Інтернету, як використовуєте віддалений моніторинг, як ваші співробітники підключаються до мережі з дому чи в дорозі тощо.

QoS є критично важливим компонентом ділових і промислових мереж.

Якість обслуговування – це мережевий термін, який використовується для опису здатності мережі забезпечувати високоякісні з’єднання для програм, які

потребують особливої уваги, як-от голос і відео. Іншими словами, це показник того, наскільки добре трафік протікає через вашу мережу.

QoS важливий для бізнесу, оскільки він дозволяє визначати пріоритетність критично важливих програм над менш важливими, гарантуючи, що співробітники можуть ефективно виконувати свою роботу. QoS допомагає переконатися, що кожен може дістатися туди, куди він прямує, не чекаючи надто довго та не проїжджаючи через великі затори.

Простіше кажучи, він намагається керувати трафіком так, щоб пакети з високим пріоритетом отримували перевагу над пакетами з низьким пріоритетом. Це дозволяє краще використовувати та спільно використовувати пропускну здатність, що, у свою чергу, сприяє підвищенню продуктивності загальної мережі.

QoS можна досягти двома способами:

Оновивши мережеве обладнання.

Налаштування програмного забезпечення, яке працює шляхом встановлення правил для вашого трафіку, щоб певні типи пакетів мали пріоритет над іншими.

Окрім того, щоб зробити вашу мережу швидшою та стабільнішою, використання методів QoS також може допомогти зменшити затримку, кількість часу, який потрібен пакетам даних, щоб досягти місця призначення, і збільшити пропускну здатність, кількість даних, які можна передати за один раз. Це робить QoS важливою частиною будь-якої мережі.

Quality of service (Якість обслуговування) – це система, яка дозволяє адміністраторам визначати пріоритети мережевого трафіку на основі потреб різних програм. Це означає, що адміністратори можуть призначати рівні пріоритету для різних типів трафіку та гарантувати, що такі критичні програми, як відеоконференції чи виклики через VoIP, отримають необхідну пропускну здатність для безперебійної роботи, не впливаючи на інші менш важливі

комунікації, такі як електронна пошта, миттєві повідомлення або публікації в соціальних мережах.

Це дає підприємствам різні переваги, зокрема:

1. Покращує оптимізацію ресурсів

Надавши перевагу певним програмам над іншими, підприємства можуть переконатися, що їхні користувачі мають доступ до ресурсів, які їм потрібні, коли вони їм найбільше потрібні — більше не потрібно чекати, поки файли завантажуються.

QoS допомагає оптимізувати ресурси, гарантуючи, що кожен користувач завжди отримує необхідну пропускну здатність. Це означає, що користувачам не потрібно конкурувати між собою за пропускну здатність і, отже, вони не витратять час на очікування, поки їх програми завантажать або оновлять дані.

Це також допомагає запобігти перевантаженню смуги пропускання в години пікового використання, коли всі намагаються отримати доступ до ваших програм одночасно.

2. Покращує пріоритезацію програм

Якщо ви хочете переконатися, що певні програми отримують пріоритетне передачу над іншими, QoS є ключовим. Це означає, що якщо у вашій мережі є дві програми, які конкурують за пропускну здатність, одна може отримати пріоритет на основі її важливості та працювати швидше, ніж інша.

Наприклад, якщо у вас є програма, яка потребує низької затримки, але не потребує великої пропускну здатності (наприклад, внутрішній веб-сайт), QoS надасть їй пріоритет над програмою з високою затримкою, але високою пропускну здатністю (наприклад, зовнішній веб-сайт).

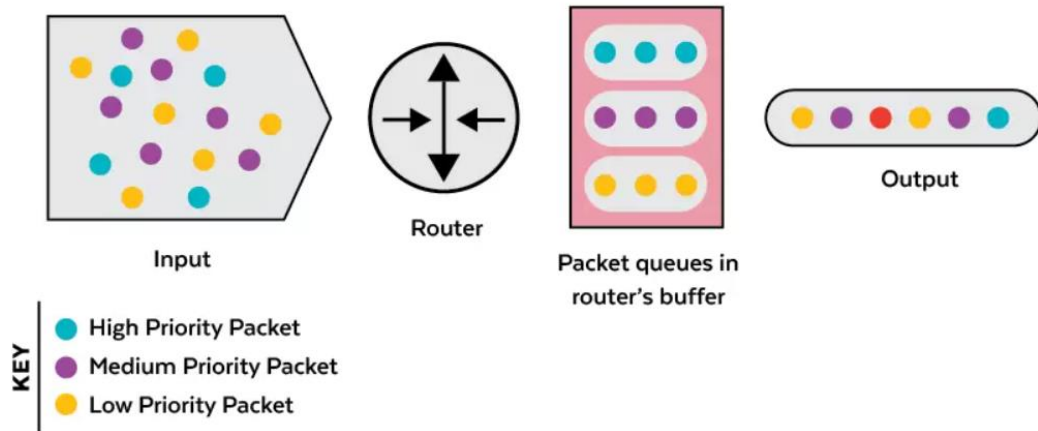


Рисунок 3.12 - Графічна схема пріоритизації трафік за допомогою QoS

3. Покращує взаємодію з користувачем

QoS гарантує, що пакети даних розташовані в правильному порядку, гарантуючи, що кожен пакет має пропускну здатність, необхідну для успішної доставки. Це означає, що ваші співробітники можуть виконувати свою роботу швидше та ефективніше, а це означає, що вони самі працюватимуть ефективніше та менше стресуватимуть.

Таким чином, QoS покращує взаємодію з користувачем, забезпечуючи швидший трафік і менше перешкод від інших типів трафіку в мережі.

4. Забезпечує ефективне управління трафіком

Ще одна перевага QoS полягає в тому, що він може допомогти забезпечити роботу ваших програм якомога плавніше, навіть без тремтіння.

Тремтіння виникає, коли проміжок часу між пакетами даних, що надсилаються через мережеве з'єднання, дуже різниться. Зменшивши тремтіння, ви можете значно підвищити продуктивність програми.

Наприклад, якщо ви керуєте інтернет-магазином і маєте 100 людей, які здійснюють покупки одночасно, усі вони змагатимуться за власну частину пропускну здатності; але з увімкненим QoS на вашому маршрутизаторі та комутаторі (і на кожному пристрої) кожна особа отримає достатню пропускну

здатність для безперебійного здійснення покупок, не впливаючи на роботу інших.

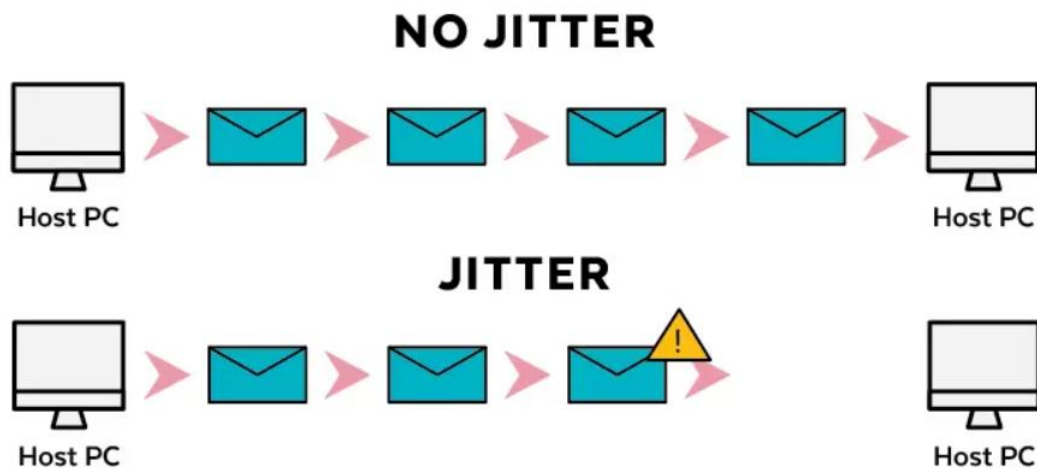


Рисунок 3.13 - Графічне зображення тремтіння в мережі

5. Запобігає затримці

QoS також допомагає уникнути затримки, яка стосується затримок під час надсилання або отримання даних через комп'ютерну мережу. Затримка може спричинити проблеми, починаючи від незначних затримок у надсиланні вкладення електронної пошти до серйозних проблем, як-от збій усього сервера.

Якщо у вас висока якість обслуговування, ваша затримка (час, потрібний для того, щоб дані досягли пункту призначення) мінімізується.

6. Запобігає втраті даних

Завдяки QoS ви можете бути впевнені, що всі ваші важливі дані будуть доставлені швидко, точно та без будь-яких втрат. Це запобігає втраті даних або пакетів, тому все, що ви надсилаєте, потрапляє туди, куди потрібно, і неушкодженим.

Яке застосування QoS?

QoS є важливим фактором, який визначає ефективність вашої бізнес-мережі. Це невід'ємна частина інфраструктури вашої мережі, і її можна використовувати для підвищення продуктивності кількома способами, зокрема:

Удосконалення викликів VoIP та інших аудіосервісів, щоб вони були чіткішими та з меншою ймовірністю пропадання.

Покращення потокового відео, щоб воно було більш надійним і якісним.

Зменшення затримки під час використання програм VoIP або відеоконференцій.

QoS також може допомогти підвищити безпеку мережі та захистити ваші мережі від зовнішніх загроз, таких як віруси та зловмисне програмне забезпечення.

QoS може допомогти вам зробити все це, надаючи метод пріоритезації трафіку в мережі та гарантуючи, що важливі пакети даних доставляються вчасно.

В табл. 3.3.1 представлено вихідні дані та теоретично розраховані показники РРЛ на основі характеристик обладнання РРЛ та параметрів антен, географічного положення сайтів, висоти розміщення приймально-передавальних антен, несучої частоти, тощо.

Основною особливістю бездротових мереж перед дротовими мережами є необхідність створення радіоканалу при передачі даних. Радіоканал - сукупність технічних пристроїв, що забезпечують передавання електричних сигналів на певну відстань з використанням радіохвиль в певній смузі частот. Радіоканал це об'єкт, який відсутній у провідній мережі та визначає показники якості передачі інформації в бездротових мережах.

Завдяки своїм особливим властивостям радіорелейний зв'язок все більш широко застосовується в місцевих, регіональних, глобальних і звісно мережах передачі даних. Привабливість даної технології обумовлена цілим рядом суттєвих переваг:

1. радіорелейні системи (РРС) є значно економічно вигіднішими і перевищують традиційні дротяні по оперативності та економічності розгортання ліній зв'язку;

2. застосування радіорелейних ліній (РРЛ). На територіях зі складним рельєфом і там, де прокладка кабелю недоцільно найбільш ефективно, а інколи використання РРЛ і є єдиним можливим варіантом при організації багатоканального зв'язку;

3. Також великою перевагою РРЛ є те, що їх можна використовувати для оперативного відновлення зв'язку при аваріях на магістралях проведеного зв'язку, замінюючи ними пошкоджені ділянки;

4. будівництво розгалужених цифрових мереж радіорелейного зв'язку найбільш ефективно у великих містах і в індустріальних зонах, де прокладка нових кабелів неможлива або пов'язана з неприйнятно високими витратами;

5. якість передачі інформації по РРЛ практично не поступається забезпечуваному при використанні ВОЛЗ та інших кабельних ліній.

Основними показниками, параметрами роботи рідорелейного прольоту є вихідна потужність передавача, тип модуляції, рівень потужності на приймальній стороні, швидкість передачі, довжина РРЛ. Далі розглянемо принципи побудови РРЛ на прикладі обладнання компанії Ericsson.

Радіоканал — це повнодуплексна система радіопередачі рівня 1, яка забезпечує зв'язок «точка-точка» між двома радіостанціями в мережі. Інша назва радіозв'язку - «hop». На рис. 3.14 показаний огляд радіоканалу.

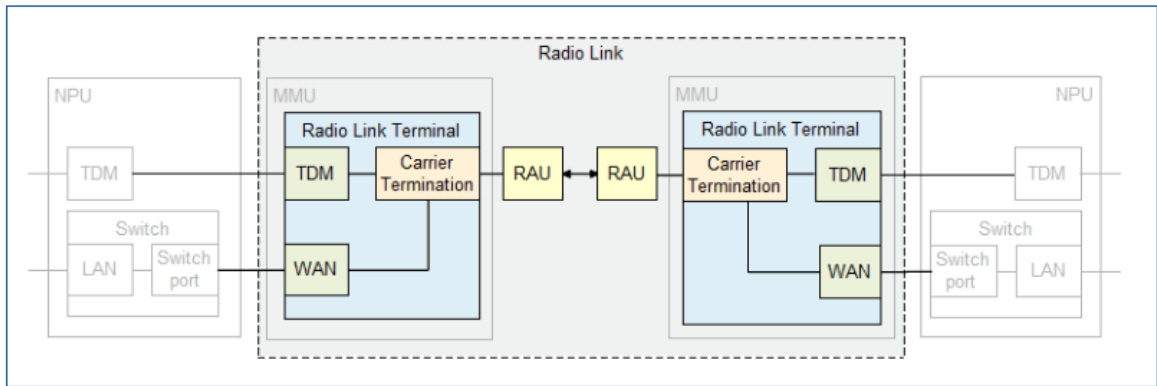


Рисунок 3.14 - Огляд радіолінії

Дві кінцеві точки радіолінії називаються терміналами радіолінії (radio link terminals - RLT).

RLT підключається до оператора та порту WAN на комутаторі за допомогою таких інтерфейсів:

- Термінація несучої (Carrier Termination) - інтерфейс до оператора називається завершенням несучої (CT). При конфігуруванні CT потрібно додати до RLT як члена.
- RL WAN Інтерфейс до порту комутатора називається WAN. WAN автоматично підключається до RLT.

Можна призначити ідентифікатор кожному RLT у радіолінії, що дозволяє використовувати цей ідентифікатор для перевірки підключення RLT до правильного RLT на іншому кінці радіолінії. Якщо ідентифікатори не збігаються, система вимикає RLT з роботи та подає сигнал тривоги.

Щоб увімкнути повний дуплекс, радіоканал передає та приймає на різних несучих частотах. Несучою є модульована електромагнітна хвиля, яка характеризується частотою, відстанню між каналами та поляризацією. Носії мають дві кінцеві точки, які називаються терміналами (CT). CT є членом RLT і може використовуватися в різних вдосконалених конфігураціях з'єднання або захисту радіолінії.

Система використовує ідентичність кінцевої точки оператора, щоб перевірити, чи вона підключена до правильного СТ на дальньому кінці. З обох сторін носія має використовуватися однаковий ідентифікатор.

Ідентифікація кадру та діапазон адаптивного кодування та модуляції (АСМ) мають бути однаковими для обох СТ у несучій. Наступні правила застосовуються до двох СТ в носії:

1. Ідентичність кадру має бути однаковою.
2. Ідентифікація кадру визначає версію формату кадру, інтервал каналів і доступний діапазон АСМ.
3. Мінімальна модуляція повинна бути однаковою.
4. Максимальна модуляція повинна бути однаковою.
5. Мінімальна модуляція має бути меншою або дорівнювати максимальній модуляції.
6. Якщо мінімальна модуляція менша за максимальну модуляцію, радіоканал використовує АСМ (Adaptive Coding and Modulation).
7. Якщо мінімальна модуляція дорівнює максимальній модуляції, радіоканал використовує фіксоване кодування та модуляцію.

Вихідна потужність передавача встановлюється встановленням мінімальної та максимальної вихідної потужності для двох трансформаторів струму в несучій.

Якщо мінімальна вихідна потужність менша за максимальну вихідну потужність, радіолінія використовує автоматичне керування потужністю передачі (ATPC). Якщо мінімальна вихідна потужність дорівнює максимальній вихідній потужності, радіолінія використовує дистанційне керування потужністю передачі (RTPC).

Застосовується наступне правило:

Мінімальна вихідна потужність має бути меншою або дорівнювати максимальній вихідній потужності.

Коли радіоканал налаштовано для АТРС, фактична вихідна потужність передавача регулюється в межах мінімального та максимального обмежень на основі отриманого вхідного рівня на радіотерміналі дальнього кінця. Це робиться шляхом встановлення цільового рівня вхідної потужності на дальньому кінці.

Радіоканал використовує дуплексний зв'язок із частотним поділом (FDD), тобто передавач і приймач працюють на різних несучих частотах. Налаштовані частоти мають бути в межах підтримуваного діапазону частот. Діапазон частот визначає нижні та верхні межі, які підтримуються апаратним забезпеченням. Це означає, що вибрана частота повинна компенсувати рознос каналів (CS - channel spacing) вибраного формату кадру зі зміщенням принаймні половини CS від мінімальної та максимальної частот.

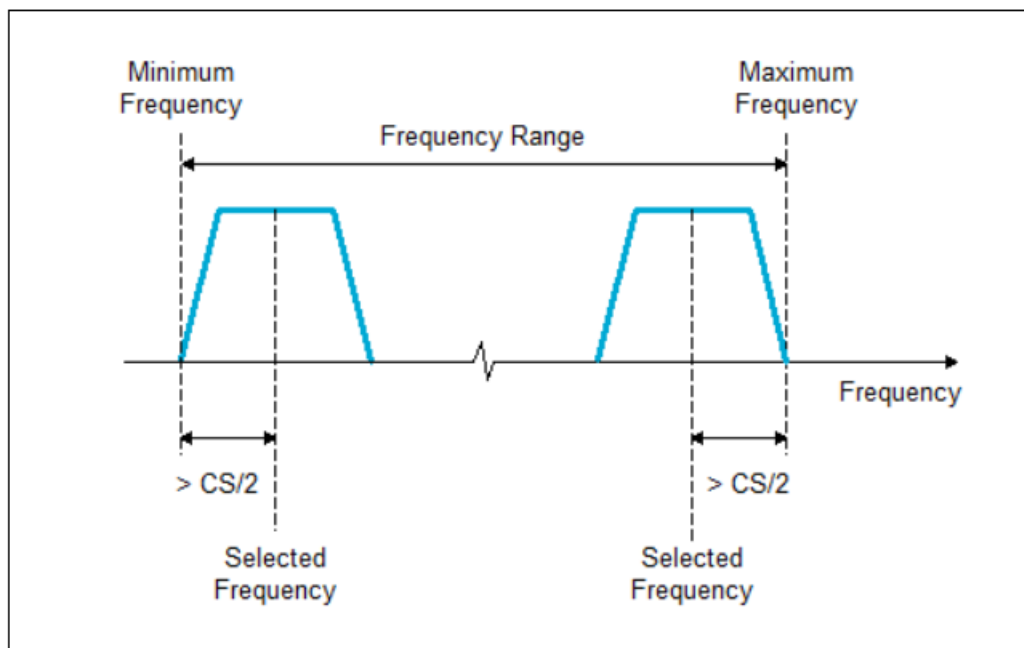


Рисунок 3.15 - Діапазон частот

Режим 1+0 складається з одного СТ, підключеного до RLT на кожному кінці стрибка. MMU (Modem Unit) з подвійною несучою підтримує два RLT у режимі 1+0.

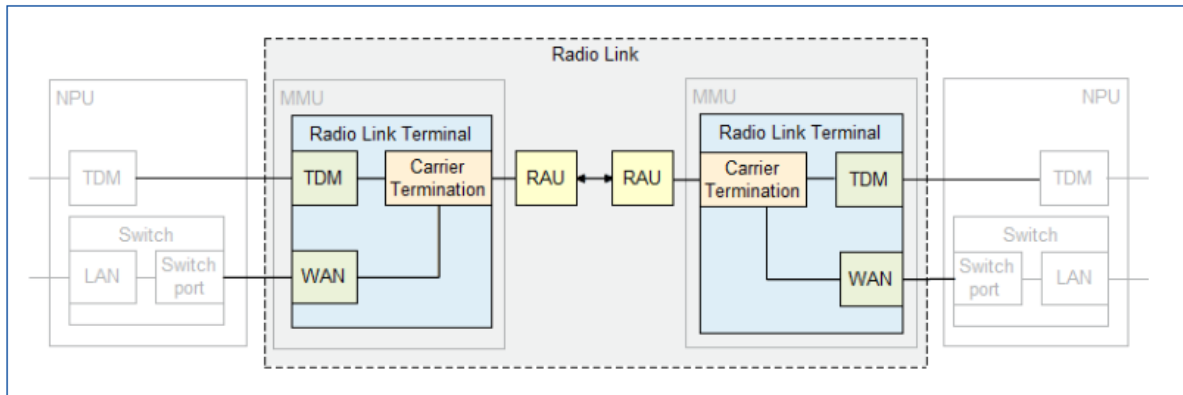


Рисунок 3.16 - Конфігурація радіоканалу 1+0

Радіозв'язок 2+0 Radio Link Bonding (RLB) складається з двох СТ, підключених до одного RLT. 2+0 RLB означає, що трафік розподіляється між двома радіоканалами з використанням одного формату кадру на різних частотах. MMU з подвійною несучою підтримує один RLT у режимі 2+0.

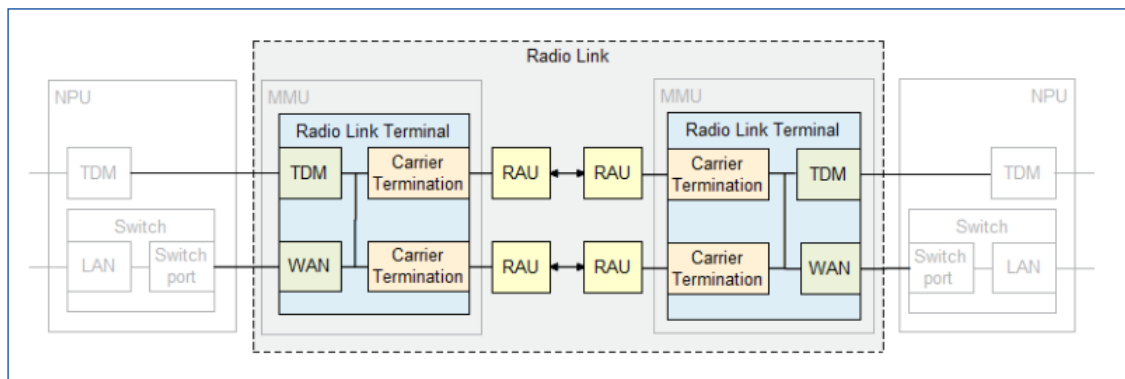


Рисунок 3.17 - Конфігурація радіоканалу 2+0 RLB

Подвійна поляризація спільного каналу (CCDP) забезпечує два паралельні канали зв'язку через одне з'єднання, подвоюючи пропускну здатність порівняно зі звичайним радіоканалом. Два радіосигнали передаються на одній частоті з ортогональною поляризацією за допомогою однієї антени з подвійною поляризацією. Перехресна поляризація може погіршити трафік. Приглушувач перешкод перехресної поляризації (ХРІС - Cross Polarization Interference Canceller) обробляє та поєднує сигнали з двох каналів для відновлення вихідних сигналів. ХРІС не є формою захисту.

Конфігурація радіолінії ХРІС складається з двох модемів із двома несучими з підтримкою ХРІС, чотирьох радіостанцій і двох інтегрованих антен із подвійною поляризацією на обох кінцях лінії радіозв'язку (RL). У цій конфігурації можна використовувати АСМ.

Wi-Fi — це тип технології, який дає змогу підключатися до Інтернету майже будь-де, на будь-якому пристрої, включаючи комп'ютер, смартфон, планшет або аудіопристрій, без будь-яких проводів, тому це називається бездротовим підключенням.

WiFi також іноді називають «бездротовою локальною мережею» або WLAN, що в основному підсумовує суть цієї технології. У технічному плані Wi-Fi (або бездротові мережі) відомі як технології IEEE 802.11. Не вдаючись у подробиці, IEEE 802.11 — це набір стандартів, створених і підтримуваних Інститутом інженерів з електротехніки та електроніки, які використовуються для реалізації зв'язку WLAN у вибраних діапазонах частот.

Wi-Fi дозволяє кільком користувачам одночасно підключати свої електронні пристрої до певного Інтернет-маршрутизатора та отримувати доступ до Інтернету на своїх певних пристроях. З цієї причини багато ресторанів, готелів, вокзалів, аеропортів та незліченна кількість інших установ мають численні маршрутизатори WiFi, встановлені навколо своїх приміщень, щоб люди могли отримати доступ до Інтернету в дорозі.

У деяких місцях вам може знадобитися платити за підключення до бездротової мережі, але такі місця, як ресторани та готелі, зазвичай надають безкоштовне з'єднання Wi-Fi.

У загальному вживанні термін «Wi-Fi» означає Wireless Fidelity. Слово «Wi-Fi» насправді є назвою бренду, яке було введено консалтинговою фірмою для базової технології, яка мала досить складну назву, а саме 'IEEE 802.11b Direct Sequence'.

Для зв'язку між пристроями Wi-Fi покладається на передачу та прийом радіохвиль, типу електромагнітних хвиль (видиме світло, ультрафіолетове, інфрачервоне, рентгенівське випромінювання тощо).

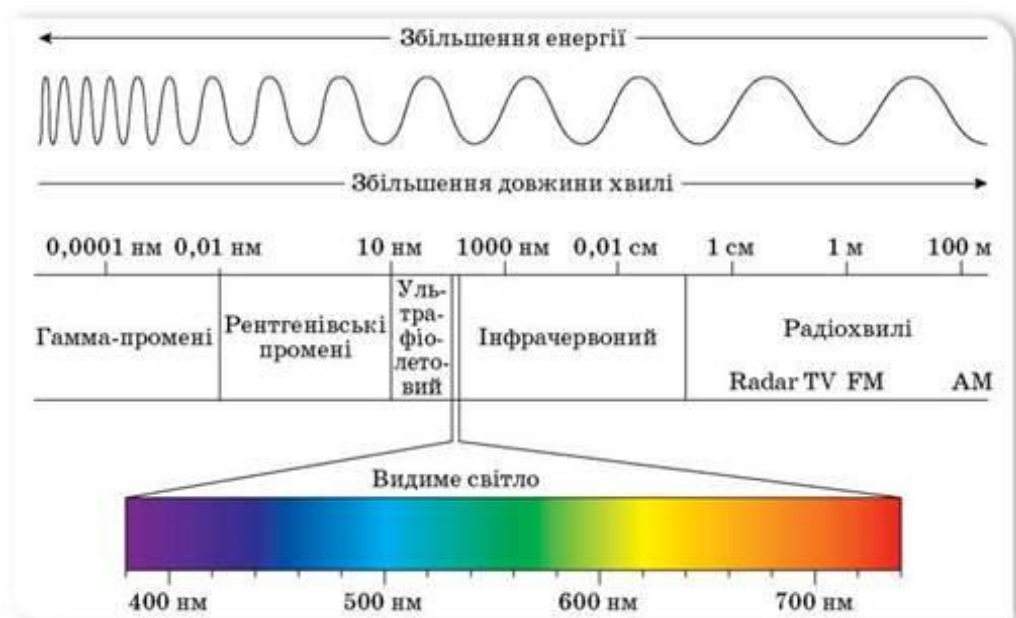


Рисунок 3.18 - Електромагнітний спектр

Маршрутизатор Wi-Fi спочатку отримує дані з підключеної до нього телефонної/кабельної лінії, перетворює ці дані в радіосигнали, а потім передає їх у своєму діапазоні.

Ці сигнали виявляються пристроями поблизу (наприклад, ноутбуком, смартфоном тощо), які містять бездротовий адаптер. Цей адаптер перетворює

дані (які ви намагаєтеся надіслати в Інтернет) у радіосигнали за допомогою антени.

Маршрутизатор отримує ці радіосигнали (надіслані вашим смартфоном), декодує їх у дані, а потім надсилає ці дані в Інтернет через з'єднання Ethernet. Той самий процес повторюється у зворотному напрямку.

Цей процес може здатися таким, що він займає багато часу, але насправді все це відбувається протягом частки секунди завдяки швидкості радіохвиль, які, як і будь-яка електромагнітна хвиля, поширюються зі швидкістю світла .

802.11 відноситься до сімейства специфікацій, розроблених IEEE для технології бездротової локальної мережі. 802.11 визначає бездротовий інтерфейс між бездротовим клієнтом і базовою станцією або між двома бездротовими клієнтами. IEEE прийняв специфікацію в 1997 році. У сімействі 802.11 є кілька специфікацій:

802.11 - застосовується до бездротових локальних мереж і забезпечує передачу 1 або 2 Мбіт/с у діапазоні 2,4 ГГц з використанням розширеного спектра зі стрибками частоти (FHSS) або прямої послідовності розширеного спектру (DSSS).

802.11a - розширення до 802.11, яке застосовується до бездротових локальних мереж і забезпечує до 54 Мбіт/с у діапазоні 5 ГГц. 802.11a використовує схему кодування мультиплексування з ортогональним частотним поділом, а не FHSS або DSSS.

802.11b (також відомий як 802.11 High Rate або Wi-Fi) — розширення 802.11, яке застосовується до бездротових локальних мереж і забезпечує передачу 11 Мбіт/с (із резервним 5,5, 2 і 1 Мбіт/с) у діапазоні 2,4 ГГц. 802.11b використовує лише DSSS. 802.11b був ратифікований у 1999 році оригінальним стандартом 802.11, дозволяючи бездротову функціональність порівняти з Ethernet.

802.11g -- застосовується до бездротових локальних мереж і забезпечує 20+ Мбіт/с у діапазоні 2,4 ГГц.

- IEEE 802.11: до 2 Мбіт/с, 2,4 ГГц, схвалено в 1997 році
 - IEEE 802.11a: до 54 Мбіт/с, 5 ГГц, схвалено в 1999 році
 - IEEE 802.11b: до 11 Мбіт/с, 2,4 ГГц, схвалено в 1999 році
 - IEEE 802.11g: до 54 Мбіт/с, 2,4 ГГц, схвалено в 2003 році
 - IEEE 802.11f: IAPP, протокол між точками доступу, затверджений у 2003 році
 - IEEE 802.11h: використання діапазону 5 ГГц у Європі, затверджено у 2003 році
 - IEEE 802.11i: нові стандарти шифрування, затверджені в 2004 році[9].
- Стандарти IEEE 802.11 визначають рівні MAC і PHY (фізичний).

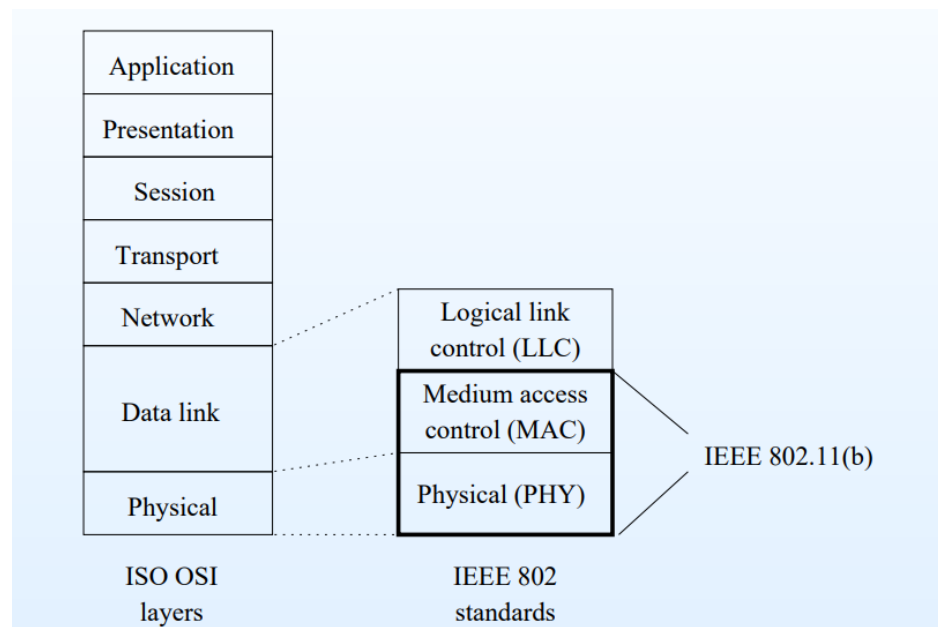


Рисунок 3.19 - Стандарти IEEE 802.11 в моделі OSI

В таблиці 3.9 продемонстровано рохрахункові значення різних параметрів.

Таблиця 3.9 - Вихідні дані та розраховані характеристики РРЛ

Sob-Dorogozh					
Sob30A (1)		(2) Dorogozhychi vyshka			
Latitude	50.439848	°	Latitude	50.471444	°
Longitude	30.609428	°	Longitude	30.453398	°
Ground elevation	97.8	m	Ground elevation	199.2	m
Antenna height	45.0	m	Antenna height	200.0	m
Azimuth	287.70 TN 279.79 MG	°	Azimuth	107.58 TN 99.69 MG	°
Tilt	1.21	°	Tilt	-1.32	°
Radio system			Propagation		
TX power	30.00	dBm	Free space loss	128.80	dB
TX line loss	3.00	dB	Obstruction loss	0.86	dB
TX antenna gain	27.00	dBi	Forest loss	0.00	dB
RX antenna gain	27.00	dBi	Urban loss	0.00	dB
RX line loss	0.50	dB	Statistical loss	6.60	dB
RX sensitivity	-87.00	dBm	Total path loss	136.26	dB
Performance					
Distance	11.591	km			
Precision	10.0	m			
Frequency	5700.000	MHz			
Equivalent Isotropically Radiated Power	251.189	W			
System gain	167.50	dB			
Required reliability	70.000	%			
Received Signal	-55.76	dBm			
Received Signal	364.66	μV			
Fade Margin	31.24	dB			

Як показано в табл. 3.9, згідно теоретичних розрахунків, очікується, що налаштуванням зазначеної РРЛ, буде отримано рівень вхідного сигналу на приймальній стороні -55.76 дБм[1].

План проведення випробувань

1. Налаштувати сайт А в режимі РТР Bridge AP. Направити антену на сайт Б.
2. Налаштувати сайт Б в режимі РТР Bridge СРЕ. Направити антену на сайт А.
3. Підключити сайти А і Б до мережі живлення 220 В.
4. Дослідити і виміряти характеристики цифрового каналу передачі даних:
 - а. Швидкість передавання по протоколу TCP.
 - б. Швидкість передавання по протоколу UDP.
 - с. Зміна швидкості передавання при зміні положення направленої антени на 90°.

Отримані енергетичні характеристики РРЛ виду точка-точка «Дорогожичі-Русанівка» при польових випробуваннях



Рисунок 3.20 - Встановлення і юстування антени на сайті А
(Дорогожицька телевежа)



Рисунок 3.21 - Сайт А: вигляд з Дорогожицької телевежі на сайт Б, що розміщений на лівому березі



Рисунок 3.22 - Сайт Б: вигляд з Русанівки в сторону Дорогожицької телевежі

Як показано на скриншоті, найкращий отриманий сигнал на приймачі РРЛ після юстування антен становить -57 дБм.

3.4 Порівняння реальних і тестових систем передачі високоякісного відео

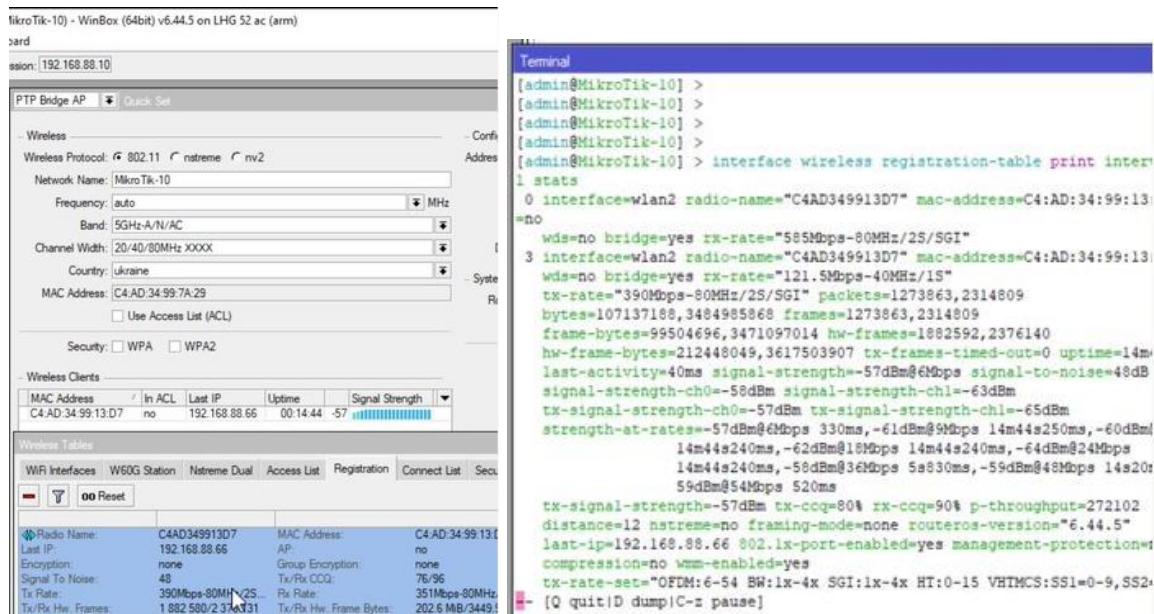


Рисунок 3.23 - Скриншот програмної оболонки прийомопередавачів Mikrotik з характеристиками РРЛ

Як видно з рис. 3.23, отриманий найкращий рівень сигналу становить: -57dBm.

Теоретично розрахований рівень сигналу становить: -56 dBm. Отже, теоретичні розрахунки підтверджені отриманими практичними результатами щодо оцінки характеристик радіоканалу[1].

Результати тестування швидкості передавання даних по РРЛ різними протоколами

Швидкість передавання даних по протоколу TCP, в обидві сторони одночасно: 55 МБіт/с в кожную сторону.

The screenshot displays the Mikrotik WinBox interface for a MikroTik-20 device. The main window shows the 'Wireless' configuration for the 'PTP Bridge CPE'. The configuration includes:

- Status: connected to ess
- AP MAC: C4AD:34:99:7A:2A
- Network Name: MikroTik-10
- Tx/Rx Signal Strength: -63/-66 dBm
- Tx/Rx CCR: 44/27%
- Signal To Noise: 38 dB
- Wireless Protocol: 802.11

The 'Configuration' tab shows:

- Address Acquisition: Static
- IP Address: 192.168.88.20
- Netmask: 255.255.255.0 (/24)
- Router Identity: MikroTik-20

The 'Wireless Tables' section shows a table with columns for Radio Name, MAC Address, Interface, Uptime, Distance, AP, WMM Enabled, Encryption, Tx/Rx Signal Strength, Signal To Noise, Signal Strengths, Tx Rate, Tx/Rx Bytes, Tx/Rx Frames, Tx/Rx Hw. Frame Bytes, and RouterOS Version. The selected entry for wlan2 shows a signal strength of -66 dBm and a rate of 260Mbps.

The 'Bandwidth Test (Running)' window shows a test configuration for UDP/TCP on 192.168.88.10. The test results indicate a current speed of 57.6 Mbps and a total average of 52.6 Mbps.

The 'Terminal' window shows the command `interface wireless registration-table print interval=1 stats detail` and its output, which includes details about the wlan2 interface, such as its radio name, MAC address, and various performance metrics.

Рисунок 3.24 - Скриншот програмної оболонки прийомередавача Mikrotik з характеристиками РРЛ: передавання даних по протоколу TCP, в обидві сторони одночасно

Швидкість передавання даних по протоколу TCP, в одну сторону, з сайту А на сайт Б: 75 МБіт/с.

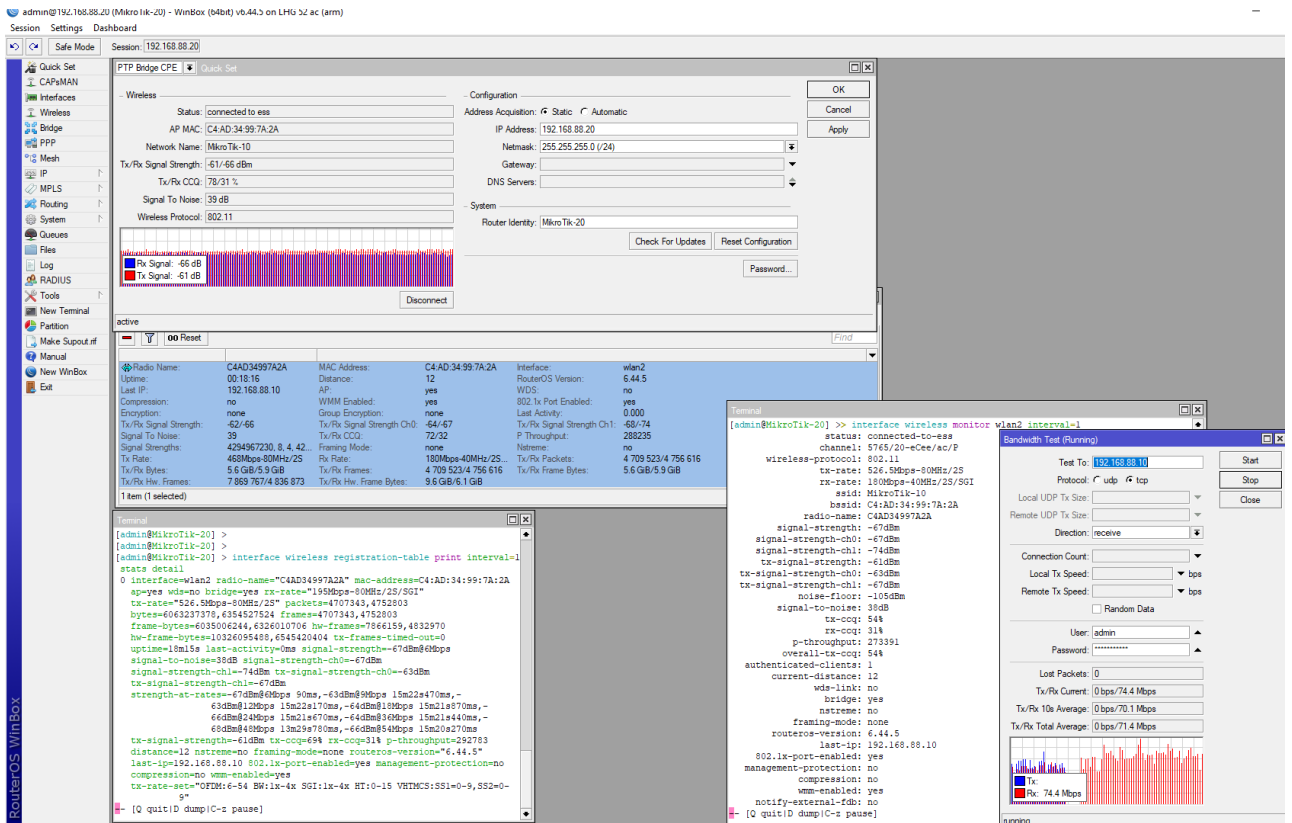


Рисунок 3.25 - Скриншот програмної оболонки прийомомередавача Mikrotik з характеристиками РРЛ: передавання даних по протоколу ТСР, в одну сторону з сайту А на сайт Б

Швидкість передавання даних по протоколу ТСР, в одну сторону, з сайту А на сайт Б: 150 МБіт/с.

The screenshot displays the Mikrotik WinBox interface for a MikroTik-20 router. The main window shows the configuration for the wireless interface 'wlan2'. The configuration includes:

- Status: connected to ess
- Address Acquisition: Static
- IP Address: 192.168.88.20
- Netmask: 255.255.255.0 (/24)
- Gateway: 192.168.88.1
- DNS Servers: 192.168.88.1
- Router Identity: MikroTik-20

Below the configuration, a table lists the radio name and its characteristics:

Radio Name	MAC Address	Interface
C4AD34997A2A	C4AD34997A2A	wlan2

The interface configuration details for 'wlan2' are as follows:

- channel: 5765/20-eCee/ac/F
- tx-rate: 390Mbps-80MHz/25/SOI
- rx-rate: 190Mbps-80MHz/25/SOI
- signal-to-noise: 39dB
- tx-signal-strength-ch0: -65dBm
- tx-signal-strength-ch1: -70dBm
- tx-signal-strength-ch2: -64dBm
- tx-signal-strength-ch3: -71dBm
- tx-signal-strength-ch4: -64dBm
- tx-signal-strength-ch5: -71dBm
- tx-signal-strength-ch6: -64dBm
- tx-signal-strength-ch7: -71dBm
- tx-signal-strength-ch8: -64dBm
- tx-signal-strength-ch9: -71dBm
- tx-signal-strength-ch10: -64dBm
- tx-signal-strength-ch11: -71dBm
- tx-signal-strength-ch12: -64dBm
- tx-signal-strength-ch13: -71dBm
- tx-signal-strength-ch14: -64dBm
- tx-signal-strength-ch15: -71dBm
- tx-signal-strength-ch16: -64dBm
- tx-signal-strength-ch17: -71dBm
- tx-signal-strength-ch18: -64dBm
- tx-signal-strength-ch19: -71dBm
- tx-signal-strength-ch20: -64dBm
- tx-signal-strength-ch21: -71dBm
- tx-signal-strength-ch22: -64dBm
- tx-signal-strength-ch23: -71dBm
- tx-signal-strength-ch24: -64dBm
- tx-signal-strength-ch25: -71dBm
- tx-signal-strength-ch26: -64dBm
- tx-signal-strength-ch27: -71dBm
- tx-signal-strength-ch28: -64dBm
- tx-signal-strength-ch29: -71dBm
- tx-signal-strength-ch30: -64dBm
- tx-signal-strength-ch31: -71dBm
- tx-signal-strength-ch32: -64dBm
- tx-signal-strength-ch33: -71dBm
- tx-signal-strength-ch34: -64dBm
- tx-signal-strength-ch35: -71dBm
- tx-signal-strength-ch36: -64dBm
- tx-signal-strength-ch37: -71dBm
- tx-signal-strength-ch38: -64dBm
- tx-signal-strength-ch39: -71dBm
- tx-signal-strength-ch40: -64dBm
- tx-signal-strength-ch41: -71dBm
- tx-signal-strength-ch42: -64dBm
- tx-signal-strength-ch43: -71dBm
- tx-signal-strength-ch44: -64dBm
- tx-signal-strength-ch45: -71dBm
- tx-signal-strength-ch46: -64dBm
- tx-signal-strength-ch47: -71dBm
- tx-signal-strength-ch48: -64dBm
- tx-signal-strength-ch49: -71dBm
- tx-signal-strength-ch50: -64dBm
- tx-signal-strength-ch51: -71dBm
- tx-signal-strength-ch52: -64dBm
- tx-signal-strength-ch53: -71dBm
- tx-signal-strength-ch54: -64dBm
- tx-signal-strength-ch55: -71dBm
- tx-signal-strength-ch56: -64dBm
- tx-signal-strength-ch57: -71dBm
- tx-signal-strength-ch58: -64dBm
- tx-signal-strength-ch59: -71dBm
- tx-signal-strength-ch60: -64dBm
- tx-signal-strength-ch61: -71dBm
- tx-signal-strength-ch62: -64dBm
- tx-signal-strength-ch63: -71dBm
- tx-signal-strength-ch64: -64dBm
- tx-signal-strength-ch65: -71dBm
- tx-signal-strength-ch66: -64dBm
- tx-signal-strength-ch67: -71dBm
- tx-signal-strength-ch68: -64dBm
- tx-signal-strength-ch69: -71dBm
- tx-signal-strength-ch70: -64dBm
- tx-signal-strength-ch71: -71dBm
- tx-signal-strength-ch72: -64dBm
- tx-signal-strength-ch73: -71dBm
- tx-signal-strength-ch74: -64dBm
- tx-signal-strength-ch75: -71dBm
- tx-signal-strength-ch76: -64dBm
- tx-signal-strength-ch77: -71dBm
- tx-signal-strength-ch78: -64dBm
- tx-signal-strength-ch79: -71dBm
- tx-signal-strength-ch80: -64dBm
- tx-signal-strength-ch81: -71dBm
- tx-signal-strength-ch82: -64dBm
- tx-signal-strength-ch83: -71dBm
- tx-signal-strength-ch84: -64dBm
- tx-signal-strength-ch85: -71dBm
- tx-signal-strength-ch86: -64dBm
- tx-signal-strength-ch87: -71dBm
- tx-signal-strength-ch88: -64dBm
- tx-signal-strength-ch89: -71dBm
- tx-signal-strength-ch90: -64dBm
- tx-signal-strength-ch91: -71dBm
- tx-signal-strength-ch92: -64dBm
- tx-signal-strength-ch93: -71dBm
- tx-signal-strength-ch94: -64dBm
- tx-signal-strength-ch95: -71dBm
- tx-signal-strength-ch96: -64dBm
- tx-signal-strength-ch97: -71dBm
- tx-signal-strength-ch98: -64dBm
- tx-signal-strength-ch99: -71dBm
- tx-signal-strength-ch100: -64dBm

The terminal window shows the command `interface wireless monitor wlan2 interval=1` and its output, which includes the following statistics:

- status: connected-to-ess
- channel: 5765/20-eCee/ac/F
- wireless-protocol: 802.11
- tx-rate: 390Mbps-80MHz/25/SOI
- rx-rate: 190Mbps-80MHz/25/SOI
- ssid: MikroTik-10
- basic: C4AD34997A2A
- radio-name: C4AD34997A2A
- signal-strength: -65dBm
- signal-strength-ch0: -65dBm
- signal-strength-ch1: -70dBm
- tx-signal-strength-ch1: -64dBm
- tx-signal-strength-ch0: -64dBm
- tx-signal-strength-ch1: -71dBm
- noise-floor: -104dBm
- signal-to-noise: 39dB
- tx-coq: 364
- rx-coq: 664
- p-throughput: 270127
- overall-tx-coq: 414
- authentication-clients: 1
- current-distance: 12
- wds-link: no
- bridge: yes
- nat: no
- framing-mode: none
- routeros-version: 6.44.5
- last-ips: 192.168.88.88
- 802.1x-port-enabled: yes
- management-protection: no
- compression: no
- nm-enabled: yes
- notify-external-fdb: no

The bandwidth test window shows the following results:

- Test To: 192.168.88.11
- Protocol: udp
- Local UDP Tx Size: 146.0 Mbps
- Remote UDP Tx Size: 142.0 Mbps
- Direction: send
- Connection Count: 1
- Local Tx Speed: 146.0 Mbps
- Remote Tx Speed: 142.0 Mbps
- Random Data: []
- User: admin
- Password: *****
- Lost Packets: 0
- Tx/Rx Current: 146.0 Mbps/1920 bps
- Tx/Rx 10s Average: 142.0 Mbps/0 bps
- Tx/Rx Total Average: 140.2 Mbps/0 bps

Рисунок 3.26 - Скриншот програмної оболонки прийомередавача Mikrotik з характеристиками РРЛ: передавання даних по протоколу TCP, в одну сторону з сайту Б на сайт А

Передача даних по протоколу UDP в обидві сторони: зв'язок дуже слабкий, низькошвидкісний, і переривається.

The screenshot displays the Mikrotik WinBox interface. The main window shows the configuration for the wireless interface 'wlan2'. The configuration includes:

- Status: connected to ess
- Address Acquisition: Static (IP Address: 192.168.88.20)
- Netmask: 255.255.255.0 (/24)
- Gateway: (empty)
- DNS Servers: (empty)
- Router Identity: MikroTik-20

Below the configuration, there is a table of statistics for the interface 'wlan2':

Radio Name	MAC Address	Interface
C4AD34997A2A	C4AD34997A2A	wlan2

Additional statistics shown include:

- Uptime: 00:31:46
- Last IP: 192.168.88.10
- Compression: no
- Encryption: none
- Tx/Rx Signal Strength: -63/-64 dBm
- Signal To Noise: 40
- Signal Strengths: 4294967232, 8, 6, 42...
- Tx Rate: 520Mbps/80MHz/2S...
- Tx/Rx Bytes: 810 GB/11.6 GB
- Tx/Rx Hw. Frames: 13 627 022/9 561 944

Three terminal windows are open:

- Terminal 1:** Shows the command `interface wireless registration-table print interval=1` and its output, which includes details about the wireless interface configuration and statistics.
- Terminal 2:** Shows the command `interface wireless monitor wlan2 interval=1` and its output, which displays real-time monitoring data for the wireless interface.
- Terminal 3:** Shows the command `bandwidth test` and its output, which displays the results of a bandwidth test, including the test speed and the amount of data transferred.

Рисунок 3.27 - Скриншот програмної оболонки прийомередавача Mikrotik з характеристиками РРЛ: передавання даних по протоколу UDP, в одну сторону з сайту А на сайт Б

1. За результатами проведення випробувань було виконанно налаштування і встановлення зв'язку виду точка-точка, та досліджено характеристики каналу зв'язку на основі цифрової радіорелейної лінії (РРЛ) стандартів IEEE 802.11 виробника Mikrotik. Потрібно зазначити, що безпроводове обладнання стандартів IEEE 802.11 зазвичай використовуються для безпроводового зв'язку виду точка-багатоточка локального всенаправленого покриття радіусом до кількох сотень метрів, в той час як у проведених випробуваннях досліджено застосування обладнання стандартів IEEE 802.11 для зв'язку виду точка-точка на відстані >10 км[1].

2. Досліджені і виміряні характеристики каналу зв'язку в польових умовах при використанні приймально-передавального обладнання стандартів

IEEE 802.11, а саме – Mikrotik LHG XL 52 ac, за схемою «точка-точка», довжиною траси РРЛ – 12 км (при заявлених можливих в характеристиках 40 км), на несучій частоті 5 ГГц (5150-5250 МГц (23 дБм), 5250-5350 МГц (20 дБм), 5470-5725 МГц (27 дБм)), та порівнянні теоретичні і практичні результати оцінки траси РРЛ.

3. За допомогою інструменту математичного моделювання https://www.ve2dbe.com/rmonline_s.asp проведено оцінку траси РРЛ та її характеристик на основі параметрів обладнання та географічного положення вузлів РРЛ. Загальна відстань траси становить 11,82 км, де один вузол РРЛ розташований на Київській телевежі (сайт А), а другий вузол РРЛ – на лівому березі м. Києва, район Русанівки, за адресою: пр-т Соборності, 30-А (сайт Б). Профіль траси РРЛ із зонами Френеля не має перешкод для розповсюдження електромагнітної хвилі між сайтами РРЛ. Представлено теоретично розраховані показники РРЛ на основі характеристик обладнання РРЛ, параметрів антен, географічного положення сайтів, висоти розміщення приймально-передавальних антен, несучої частоти, тощо. Згідно теоретичних розрахунків, рівень вхідного сигналу на приймальній стороні повинен становити -55.76 дБм.

4. Найкращий отриманий сигнал на приймачі РРЛ після юстування антен становить -57 дБм. Отже, теоретичні розрахунки для оцінки радіоканалу та отримані практичні результати – збігаються, що показує достовірність теоретичної оцінки та валідність моделі.

5. Досягнуто швидкість передавання даних по протоколу TCP, в обидві сторони одночасно: 55 МБіт/с в кожную сторону. Проте, швидкість передавання даних по протоколу TCP, в одну сторону, з сайту А на сайт Б: 75 МБіт/с. З сайту Б на сайт А досягнуто за тих же умов швидкість передавання даних 150 МБіт/с, що спричинено налаштуваннями максимальної енергії випромінювання на передавачах, і, відповідно, вибір сигнально-кодової

конструкції та смуги частот, що визначають швидкість передачі даних. Передача даних по протоколу UDP в обидві сторони, як і в кожную сторону окремо, не вдалась, за всіх тих же самих умов – передавання трафіку переривалось, і даний режим використовувати для передавання даних будь-якого виду не виглядає ефективним.

6. Автоматичний перехід на резервну несучу частоту 2.4 ГГц не відбувався. Важливо зазначити, що керування таким переходом з 5 ГГц на 2.4 ГГц несучу частоту у примусовому режимі в пристроях Mikrotik зазначеної моделі не передбачене функціонально, – передбачений лише автоматичний перехід без участі оператора.

7. Повертання антени на 90° не впливає на швидкість передавання даних.

8. Таким чином, експериментально доведено, що застосування стандартів IEEE 802.11 для безпроводового зв'язку можливе не лише для організації ефективного зв'язку виду точка-багатоточка, але і зв'язку виду точка-точка.

3.5 Висновки до розділу 3

В третьому розділі було сконцентровано увагу на описі компонентів системи, описано принцип побудови передачі високоякісного відео. Продемонстровано розрахункові дані та результати отриманні після виконання польових досліджень. Проведено порвняння отриманих значень. В даній роботі було використано обладнання Mikrotik LHG XL 52 ac, в якості приймально передавального пристрою. Орієнтовна вартість даного обладнання скалає 7400 грн. або близько 200 дол. В даному проекті використовуємо два комплекти обладнання від компанії Mikrotik .Для побудови корпусу БЛЛА разом з двигуном було витрачено 2000 дол. Сумарна вартість даної ситеми складає

орієнтовно 2500 дол. БПЛА можуть бути використані як станції повітряного базування для забезпечення додаткової потужності та надійності існуючих систем стільникового зв'язку у разі виникнення надзвичайних ситуацій і також використовуватися в місцях регулювання громадської безпеки. З іншого боку, БПЛА також здатні виконувати роль повітряних мобільних терміналів, виконуючи відеоспостереження в реальному часі та діючи як ретранслятори зв'язку.

Скориставшись інструментом математичного моделювання https://www.ve2dbe.com/rmonline_s.asp було проведено оцінку траси РРЛ та її характеристик на основі географічного положення вузлів РРЛ та параметрів обладнання. Загальна відстань траси становить 11,82 км, де один вузол РРЛ розташований на Київській телевежі (сайт А), а другий вузол РРЛ – на лівому березі м. Києва, район Русанівки, за адресою: пр-т Соборності, 30-А (сайт Б). Профіль траси РРЛ із зонами Френеля не має перешкод для розповсюдження електромагнітної хвилі між сайтами РРЛ. Відповідно до теоретичних розрахунків, рівень вхідного сигналу на приймальній стороні повинен становити -55.76 дБм.

Найкращий отриманий сигнал на приймачі РРЛ після юстування антен становить -57 дБм. Отже, теоретичні розрахунки для оцінки радіоканалу та отримані практичні результати – збігаються, що показує достовірність теоретичної оцінки та валідність моделі. Досягнуто швидкість передавання даних по протоколу TCP, в обидві сторони одночасно: 55 МБіт/с. Передача даних по протоколу UDP в обидві сторони, як і в кожную сторону окремо, не вдалась, за всіх тих же самих умов – передавання трафіку переривалось, і даний режим використовувати у даному випадку не потрібно.

ВИСНОВКИ

Сфера безпілотних літальних апаратів з кожним роком стає все більш і більш популярна. Велика кількість компаній вкладають гроші у розвиток, покращення характеристик БПЛА. На сьогоднішній день велика кількість різних типів БПЛА використовуються у сферах , таких як, сільське господарство, лісне господарство, виявлення злочинів та адміністративних правопорушень, забезпечення оперативного зв'язку, відеодокументування правопорушень, управління наземними нарядами оперативних служб. Також сьогодні БПЛА широко використовуються у військовій сфері, за допомогою яких здійснюються велика кількість різних поставлених задач. БПЛА використовуються для картографування, зйомки та визначення погодних умов конкретної місцевості. Безпілотні літальні апарати пройшли довгий шлях від досить примітивних пристроїв до апаратів, які наділенні широким функціоналом і можуть використовуватись на значних відстанях. Спостереження за переміщенням ворожої техніки, моніторинг обстановки на державному кордоні, ураження ворожої техніки та сил противника стало основною задачею БПЛА при військових конфліктах.

Для керування безпілотним літальним апаратом потрібно встановити з'єднання БПЛА і наземною станцією. Для вирішення такої задачі потрібно використовувати телекомунікаційні засоби. Якісна і швидка передача даних відіграє важливу роль у функціонуванні загальної системи. В даній роботі було використано обладнання Mikrotik LHG XL 52 ac, в якості приймально передавального пристрою. Обладнання від компанії Mikrotik застосовується для побудови двосмугових РРЛ для відстаней порядку кількох десятків кілометрів. LHG XL 52 ac забезпечує саме це завдяки своїм двосмуговим можливостям: можна налаштувати канал 5 ГГц як основний зі швидкістю до 600 Мбіт/с і використовувати канал 2,4 ГГц як автоматичне резервне з'єднання зі швидкістю

до 260 Мбіт/с. Орієнтовна вартість даного обладнання складає 7400 грн. або близько 200 дол. В даному проекті використовуємо два комплекти обладнання від компанії Mikrotik. Для побудови корпусу БЛЛА разом з двигуном було витрачено 2000 дол. Сумарна вартість даної системи складає орієнтовно 2500 дол.

Було побудовано тестову РРЛ трасу, загальна відстань якої становить 11,82 км, де один вузол РРЛ розташований на Київській телевежі (сайт А), а другий вузол РРЛ – на лівому березі м. Києва, район Русанівки, за адресою: пр-т Соборності, 30-А (сайт Б). Профіль траси РРЛ із зонами Френеля не має перешкод для розповсюдження електромагнітної хвилі між сайтами РРЛ. Відповідно до теоретичних розрахунків, рівень вхідного сигналу на приймальній стороні повинен становити -55.76 дБм.

Найкращий отриманий сигнал на приймачі РРЛ після юстування антен становить -57 дБм. Можемо зробити висновок, що теоретичні розрахунки для оцінки радіоканалу та отримані практичні результати – співпадають, що показує достовірність теоретичної оцінки та правильність реалізації проекту на практиці. Досягнуто швидкість передавання даних по протоколу TCP, в обидві сторони одночасно: 55 Мбіт/с. Передача даних по протоколу UDP в обидві сторони, як і в кожную сторону окремо, не вдалась, за всіх тих же самих умов – передавання трафіку переривалось, і даний режим використовувати у даному випадку не потрібно.

Перехід на резервну несучу частоту 2.4 ГГц не відбувався. Потрібно зазначити, що керування таким переходом з 5 ГГц на 2.4 ГГц несучу частоту у примусовому режимі в пристроях Mikrotik зазначеної моделі не передбачене функціонально, – передбачений лише автоматичний перехід без участі оператора. Швидкість передавання даних не змінюється при повертанні антени на 90°. Таким чином, експериментально доведено, що застосування стандартів

IEEE 802.11 для безпроводового зв'язку можливе не лише для організації ефективного зв'язку виду точка-багатоточка, але і зв'язку виду точка-точка.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Osyrchuk S.O. ПРОТОКОЛ дослідження характеристик цифрового каналу зв'язку РРЛ на основі приймально-передавальних засобів IEEE 802.11 Mikrotik LHG XL 52 ac від 23 червня 2021 р.
2. Microwave Radio Communications Advantages & Disadvantages [Online]. Available: <https://www.techwalla.com/articles/microwave-radio-communications-advantages-disadvantages>
3. Турецькі безпілотні літальні апарати [Online]. Available: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-60270420>
4. Використання БПЛА у війні Росії проти України [Online]. Available: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-62091653>
5. Безпілотники російської армії "Орлан", "Оріон", "Застава" та "Форпост" [Online]. Available: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-61420235>
6. О.Ю.Гусєв, Г.Ф.Конахович, В.І.Корнієнко, Г.В.Кузнецов, О.Ю.Пузиренко ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ [Online]. Available: <http://tks.nau.edu.ua/wp-content/uploads/2016/10/TEORIYA-ELEKTRYCHNOGO-ZVYAZKU.pdf>
7. Network OSI Layers Explained [Online]. Available: <https://linuxhint.com/network-osi-layers-explained/>
8. What Is Network Architecture [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/what-is-network-architecture.html#~q-a>
9. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/An-overview-of-protocol-architectures-for-FANETs_tbl1_311806753
10. [Online]. Standards are available at <http://standards.ieee.org/getieee802/portfolio.html>
11. Mikrotik LHG XL 52 ac https://mikrotik.com/product/lhg_xl_52_ac

12. ДСТУ 3937-1999 Системи передачі прямої видимості радіорелейні. Класифікація. Основні параметри. Методи вимірювань
13. ДСТУ 3936-1999 Системи передачі прямої видимості радіорелейні. Терміни та визначення
14. ДСТУ ETSI EN 300 328 :2008 (ETSI EN 300 328:2006, IDT) Електромагнітна сумісність і радіочастотний спектр. Системи з радіодоступом у діапазоні частот 2,4 ГГц. Загальні вимоги до радіоінтерфейсу
15. ДСТУ 7115:2009 (ETSI EN 301 893:2008, MOD) Обладнання радіодоступу діапазону частот 5 ГГц. Загальні технічні вимоги та методи випробування
16. Бакланов И.Г. Методы измерений в системах связи. – М.: Эко-трендз, 1999г. , 204 стр.
17. Uryvsky L.O., Osypchuk S.O., Moshynska A.V. Internet Of Things Solutions Research And Development For Widespread Usage And Applications / The Actual Problems of the World Today/ monograph. – London, SCIEEMCEE (2019) – pp. 254-266.
18. Uryvsky L., Moshynska A., Osypchuk S., Kyrashchuk V. IoT solutions research and development for wide range applications / Sciences of Europe, Praha, Czech Republic. Vol.1, No 36 (2019). – p.p. 40-54. <http://europe-science.com/wpcontent/uploads/2019/03/VOL-1-No-36-2019.pdf>.
19. Uryvsky L.O., Osypchuk S.O. Conceptual aspects of the IoT networks organization in Ukraine / High technology in information and telecommunications: information processing, cybersecurity, information warfare. Monograph. V.M. Bezruk, V.V. Varannyk – Kharkiv: Kharkiv: FOP Brovin O.P., 2018 .-- p. 89-112.
20. Общие виды и характеристики беспилотных летательных аппаратов : справ. пособ. / А. Г. Гребенников, А. К. Мялица, В. В. Парфенюк и др. – Х. : Нац. аэрокосм. ун–т "Харьк. авиац. ин–т", 2008. – 377 с.
21. "Uncrewed Aircraft Systems (UAS)". Retrieved 15 May 2019.

22. Autonomous Flying Robots. Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles / Kenzo Nonami, Farid Kendoul, Satoshi Suzuki and other. – Springer Tokyo, New York, 2010. – 348 p.
23. International Civil Aviation Organization. CIR 328. Беспилотные авиационные системы (БАС). – ИКАО, 2011. – 326 с.
24. Tice, Brian P. (Spring 1991). "Unmanned Aerial Vehicles – The Force Multiplier of the 1990s". Airpower Journal. Archived from the original on 24 July 2009. Retrieved 6 June 2013. When used, UAVs should generally perform missions characterized by the three Ds: dull, dirty, and dangerous.
25. Війна дронів. Як волонтери постачають українські війська безпілотниками і створюють власний апарат. Texty.org.ua. 12 вересня 2014.
26. "Drones and Artificial Intelligence". Drone Industry Insights. 28 August 2018. Retrieved 11 April 2020.
27. Dubins L.E. On curves of minimal length with a constraint on overage curvature, and with prescribed initial and terminal positions and tangents / Dubins L.E. // AM. J. Math. – 1957. – 79. – P. 497–516.
28. Five UK cities selected to develop future of drone operations. sUAS News website, 2018.
29. Зінченко Д.М. Салімі Хаджі М.Фарід, Яригін В.М. Аеродинамічне проектування спеціалізованого сільськогосподарського літака // Зб. наук. праць Харків. ун-ту Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – 2010. - Вип. 2(24). – С. 37 – 40.
30. Мироненко В.Г., Маранда С.О. Перспективи використання безпілотних літальних апаратів у сільському господарстві України // Вісник НУБіП. – 2011. - Вип. 5. – С. 27 – 32.
31. Кобець М. Потенціал безпілотників // The Ukrainian Farmer. - 2011. - № 3. <http://www.agrotimes.net/magazines>.