

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

Фізико-технічний факультет

Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

Савчук Степан Ігорович

Stepan Savchuk

УДК 004:42

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Кваліфікаційна робота

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

Розроблення системи керування дронами на базі мікропроцесорного  
комплексу Arduino

Development of a drone control system based on the Arduino microprocessor  
complex

Науковий керівник:

Кандидат к.ф.-м-н, доцент

комп'ютерної інженерії та

електроніки, Андрій Терлецький

Рецензент:

Івано-Франківськ

2024

Формат	Поз.	Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
A4			Електрична схема підключення сервера для льотного модуля	1	
A4			Принципова діаграма розрахунку висоти дрона на концентричній точці зображення орієнтометром і лазерним рейнджером	1	
A4			Пояснювальна записка	46	

					123.КІ-41.15			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>	Специфікація	<b>Лім.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушів</b>
Розробив		Савчук С.І.					2	1
Перевірів		Терлецький А.І.						
Н. Контр.								
Затвердив								

## АНОТАЦІЯ

У даній кваліфікаційній роботі досліджується можливість розроблення системи керування дронами на основі мікропроцесорного комплексу Arduino. Зростання популярності дронів в різних сферах, включаючи дозвілля, транспорт і навіть допомогу у надзвичайних ситуаціях, ставить питання щодо розробки ефективних систем керування для цих пристроїв.

Робота починається з огляду літературних джерел, що стосуються попередніх досліджень у галузі керування дронами та використання мікроконтролерів, зокрема Arduino, для цих цілей. Далі розглядаються характеристики дронів, їх можливості та обмеження.

Основна частина роботи присвячена проектуванню та розробці системи керування дронами на базі Arduino. Автор розглядає архітектуру системи, включаючи апаратну та програмну частини, а також інтерфейси для зв'язку з оператором та датчиками навколишнього середовища. Детально аналізується вибір компонентів та їх взаємодія для забезпечення стабільності та ефективності роботи системи.

Після розробки системи проводиться її тестування в реальних умовах, що включає випробування на різних типах дронів та у різних сценаріях використання. Оцінюються якість керування, швидкість реакції системи та її здатність до адаптації до змінних умов.

У заключній частині роботи надається загальний висновок про досягнення цілей дослідження, переваги та недоліки розробленої системи, а також рекомендації щодо подальших напрямків розвитку даної технології. Робота містить список використаних джерел та додатки з кодом програмного забезпечення та схемами апаратної частини системи.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Савчук С.І.			Анотація	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Терлецький А.І.					3	1
Н. Контр.								
Затвердив								

## ABSTRACT

This qualification paper examines the possibility of developing a drone control system based on the Arduino microprocessor complex. The growing popularity of drones in various fields, including leisure, transportation and even emergency assistance, raises questions about the development of effective control systems for these devices.

The work begins with a review of literature sources related to previous research in the field of drone control and the use of microcontrollers, in particular Arduino, for these purposes. Next, the characteristics of drones, their capabilities and limitations are considered.

The main part of the work is devoted to the design and development of the drone control system based on Arduino. The author considers the architecture of the system, including hardware and software parts, as well as interfaces for communication with the operator and environmental sensors. The choice of components and their interaction is analyzed in detail to ensure the stability and efficiency of the system.

After the system is developed, it is tested in real conditions, which includes tests on different types of drones and in different usage scenarios. The quality of management, the speed of the system's response and its ability to adapt to changing conditions are evaluated.

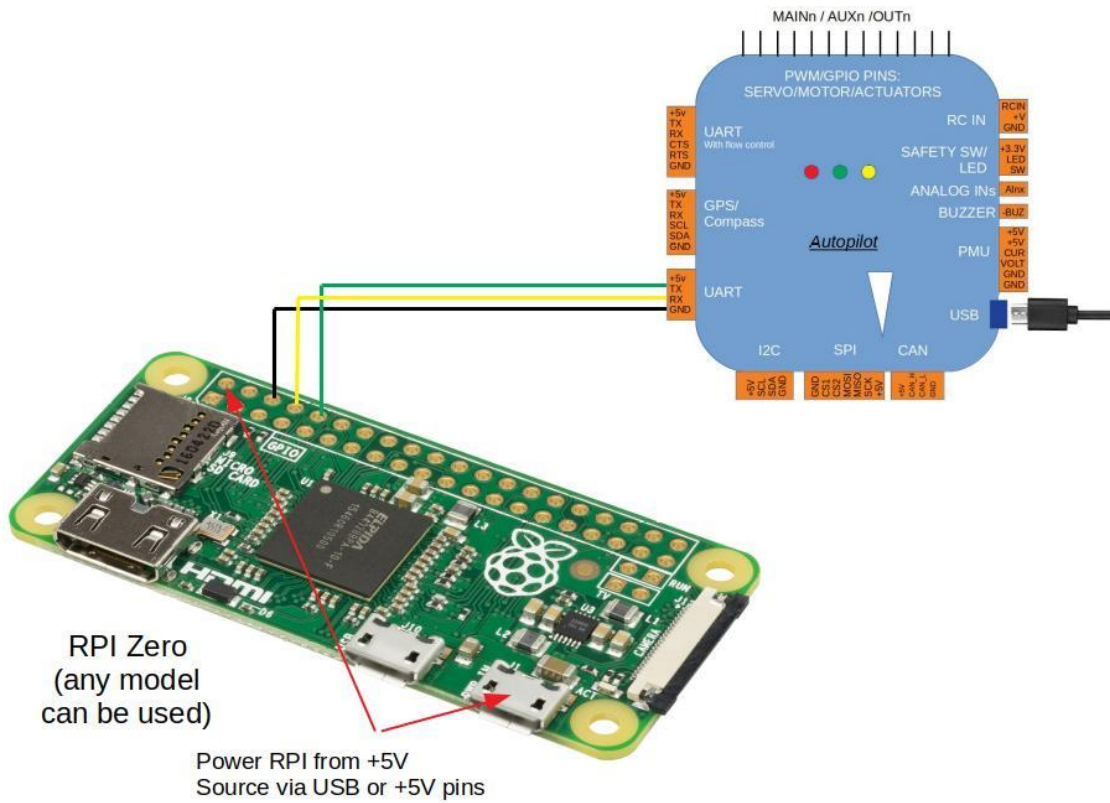
The final part of the work provides a general conclusion on the achievement of research goals, advantages and disadvantages of the developed system, as well as recommendations on further directions for the development of this technology. The work contains a list of used sources and appendices with software code and diagrams of the hardware part of the system.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Савчук С.І.			Abstract	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевірив		Терлецький А.І.					4	1
Н. Контр.								
Затвердив								

## ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- UAV - Unmanned Aerial Vehicle (БПЛА - Безпілотний літальний апарат)
- MCU - Microcontroller Unit (МКП - Мікроконтролерний пристрій)
- GPS - Global Positioning System (СНС - Система навігації та стеження)
- PID - Proportional-Integral-Derivative (ПІД - Пропорційно-Інтегрально-Диференціальний)
- PWM - Pulse Width Modulation (ШШМ - Широтно-імпульсна модуляція)
- ESC - Electronic Speed Controller (ЕСК - Електронний регулятор обертів)
- IMU - Inertial Measurement Unit (БМП - Безперервний модуль вимірювань)
- GUI - Graphical User Interface (ГПІ - Графічний інтерфейс користувача)
- UAVCAN - Uncomplicated Application-level Vehicular Communication And Networking (СВНБП - Система взаємодії й мережування безпілотних літальних апаратів)
- UART - Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (УАРТ - Універсальний асинхронний приймач/передавач)
- LiPo - Lithium Polymer (Літій-полімерний акумулятор)
- LOS - Line of Sight (ВОС - Визначене візуальне спостереження)
- RTOS - Real-Time Operating System (ОСВЧ - Операційна система реального часу)
- ADC - Analog-to-Digital Converter (АЦП - Аналогово-цифровий перетворювач)
- API - Application Programming Interface (ІППІ - Інтерфейс програмування додатків)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Савчук С.І.			Abstract	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевірив		Терлецький А.І.					4	1
Н. Контр.								
Затвердив								



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електрична схема підключення сервера для льотного модуля	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Савчук С.І.						5	1
Перевірив	Терлецький А.І.							
Н. Контр.								
Затвердив								



Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи

на тему:

**«Розроблення системи керування дронами на базі мікропроцесорного  
комплексу Arduino»**

					123.KI-41.10			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розробив		Савчук С.І.			Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Перевірив		Терлецький А.І.					7	42
Н. Контр.								
Затвердив								



## ЗМІСТ

<b>1.ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ FOLLOW ME ДЛЯ ДРОНІВ</b> .....	10
<b>1.1 Представлення технології Follow Me</b> .....	10
<b>1.2 Огляд аналогів з використанням технології Follow Me</b> .....	16
<b>2.ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ДРОНОМ ЧЕРЕЗ КООРДИНАТИ З GPS</b> .....	21
<b>2.1 Створення серверу Wi-Fi на Raspberry Pi Zero дроні для збереження даних</b> .....	21
<b>2.2 Алгоритм керування дроном через координати з GPS</b> .....	28
<b>3. УТОЧНЕННЯ НАПРЯМКУ НА КЛІЄНТА ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ BLUETOOTH (НА МАЛІЙ ВІДСТАНІ)</b> .....	36
<b>3.1 Як зробити вивід для зовнішньої антени</b> .....	36
<b>3.2 Вибір антени</b> .....	37
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	44
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	45

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

## ВСТУП

Завдання, що стоять перед людством у XXI столітті, вимагають пошуку та впровадження нових технологій для вирішення складних завдань у різних галузях життя. Однією з таких технологій, яка здобуває популярність і стає невід'ємною частиною багатьох сфер, є FPV (First Person View) дрони. Збирання та вдосконалення цих безпілотних літальних апаратів стає актуальним завданням для ентузіастів, робототехніків та фахівців в галузі робототехніки.

FPV дрони, що володіють можливістю передачі відео та управління в реальному часі, знаходять своє застосування в різноманітних галузях, починаючи від спортивного багатоборства до використання в сільському господарстві, від зйомок відео та фотографій до безпеки та навігації. Збирання FPV дронів відкриває безмежні можливості для творчого вияву та впровадження новаторських ідей.

Мета даного курсового проекту - детально розглянути процес збирання FPV дронів, розкрити основні аспекти вибору компонентів, їх взаємодію та вплив на функціональність кінцевого продукту. Проект також орієнтований на надання чіткої та повної інформації щодо програмного забезпечення, необхідного для управління FPV дроном, та технічних аспектів безпеки та використання відповідно до законодавства.

Курсовий проект буде складатися з декількох розділів, включаючи вступ, технічний огляд компонентів, процес збирання FPV дрону, програмне забезпечення та його налаштування, а також розділ про безпеку та відповідність законодавству. Кожен з розділів буде ретельно розглянутий для забезпечення повної та зрозумілої інформації для читача.

Збирання FPV дронів - це захоплюючий та водночас відповідальний процес, який дозволяє не лише насолоджуватися польотами в реальному часі, але й розвивати власні навички у робототехніці та технічному творчості. Надіємося, що цей курсовий проект стане цінним ресурсом для тих, хто цікавиться світом FPV дронів та має бажання долучитися до цієї захоплюючої галузі.

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9



Застосування та переваги:

### 1. Спортивна фотографія

Режим «Follow-Me» особливо корисний для зйомки стрімких екшенів, будь то екстремальні види спорту, пригоди на природі чи гонки. Це звільняє руки пілота, щоб зосередитися на об'єкті, тоді як дрон автономно стежить і записує дію з захоплюючих ракурсів.

### 2. Ведення відеоблогів і створення контенту

Творці контенту, відеоблогери та впливові особи в соціальних мережах можуть отримати значну користь від режиму Follow-Me. Це дає їм змогу створювати захоплюючий відеовміст, фіксуючи свою діяльність і розповідь у більш захоплюючий та динамічний спосіб.

### 3. Групові фото та селфі

Режим Follow-Me не обмежується відстеженням окремих осіб. Його також можна використовувати для групових знімків або створення кінематографічних селфі. Дрон можна налаштувати на оптимальну відстань і кут, щоб усі були включені в кадр, водночас демонструючи оточення.

### 4. Професійне кіно

Режим Follow-Me став цінним інструментом для професійних режисерів. Це дозволяє їм створювати складні знімки та точні рухи камери без потреби спеціального оператора чи складного налаштування обладнання.

### Мікування щодо безпеки

Важливо зазначити, що цей режим має заздалегідь визначене обмеження швидкості. Як правило, режим Follow Me має максимальний поріг швидкості, який часто встановлюється близько 3 м/с. Якщо об'єкт, наприклад людина, їде в автомобілі зі швидкістю, що перевищує максимальну швидкість відстеження дрона, наприклад 4 м/с, режим «Слідуй за мною» не продовжуватиме стежити за об'єктом. Як вбудована функція, дрон розпізнає свої обмеження швидкості та не зможе встигати за об'єктом, що рухається швидше. Дуже важливо пам'ятати про це обмеження та враховувати швидкість, з якою рухається об'єкт під час використання режиму «Слідуй за мною» з дроном.

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Незважаючи на те, що режим Follow-Me пропонує чудові творчі можливості, під час його використання вкрай важливо віддавати перевагу безпеці. Пілоти дронів повинні:

Забезпечте безпілотну траєкторію польоту без перешкод, щоб уникнути зіткнень або аварій.

Пам'ятайте про їх оточення та місцеві правила, щоб відповідально та шанобливо літати в громадських місцях.

Регулярно оновлюйте мікропрограму та програмне забезпечення свого дрона, щоб отримати переваги від покращеної стабільності польоту та можливостей розпізнавання об'єктів.

Завдяки безпілотній технології Follow Me, БПЛА запрограмований на автоматичне слідування за вами, що дає вам багато можливостей для зйомки унікальних аерофотознімків.

Слідуй за мною — це інтелектуальний бойовий режим, який перетворює ваш дрон на екіпаж знімальних камер без рук. Зараз ми бачимо 2 типи технології Follow Me. Є GSC із технологією передавача Follow Me GPS і найновішою програмою розпізнавання, наприклад DJI ActiveTrack.

Дрон, який слідує за вами за допомогою передавача GPS/GSC

Багато безпілотних літальних апаратів у режимі «слідуй за мною» використовують пристрій із підтримкою GPS, наприклад мобільний телефон, планшет або контролер наземної станції (GSC), а також передавач (передавач, який можна носити, або мобільний телефон). Дрон запрограмований на те, щоб слідкувати за передавачем і постійно тримати об'єкт на знімку.

Технологія Follow me створює віртуальний зв'язок між дроном і мобільним пристроєм із GPS, що дозволяє дрону відстежувати вас або інший об'єкт у русі. Більшість БПЛА Follow me також можуть залишатися нерухомими та стежити за об'єктом, обертаючись, або можуть рухатися разом з об'єктом.

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Ось 3 дрони з використанням пристроїв GPS-передавача, щоб дрон міг стежити за вами;

- Skydio 2 Слідкуйте за дроном
- Священний камінь HS700 Офелія
- Священний камінь HS270

Наведені вище дрони, які слідують за вами, представлені нижче. Ви носите GPS-пристрій під назвою AirLeash, і дрон відстежує цей пристрій. AirDog злетить, слідуватиме за вами, а також приземлиться автономно.[12]

Новий дрон Skydio 2 має кілька способів літати. Одним із таких методів є використання маяка Skydio 2, і дрон відстежуватиме маяк. Тепер Skydio дуже вдосконалений і використовує інтелектуальну систему бачення, щоб стежити за вами та уникати перешкод. Більше про фантастичний безпілотною Skydio 2 дивіться нижче.

Інші дрони, як-от Holy Stone HS700 Ophelia та Holy Stone HS270, мають базовий режим слідувати за мною. Вони використовують GSC як передавач. Отже, безпілотною запрограмований таким чином, щоб слідувати за передавачем у пульті дистанційного керування та постійно тримати об'єкт на знімку.

Дрон, який стежить за вами за допомогою технології розпізнавання

Найновіші безпілотні літальні апарати, які використовують датчики зору та технологію розпізнавання, а також програмні алгоритми:

- Skydio 2
- DJI Mavic Air / Air 2
- DJI Mavic Pro
- DJI Mavic 2 Pro
- DJI Mavic 2 Zoom
- DJI Phantom 4
- Юнецький тайфун Н
- Yuneec Breeze
- Дрон Hover Follow You

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

- Walkera Scout X4
- Валькера Вігус
- Autel Evo



Рисунок 1.1 Skydio 2

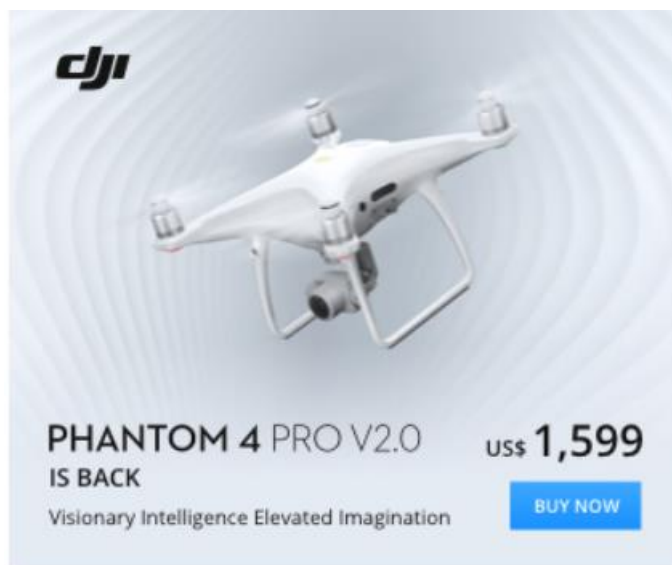


Рисунок 1.2 DJI Mavic Pro 4

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



Рисунок 1.3 Yuneec Breeze

Датчики та технологія розпізнавання разом із програмними алгоритмами дають БПЛА можливість розпізнавати та слідувати за людиною чи об'єктом. Ця технологія глибокого навчання дронів дозволяє БПЛА відстежувати рухомий об'єкт без окремого GPS-трекера.

З наведеного вище списку ви можете бачити, що DJI є провідним виробником дронів із технологією follow you.[12]

У квадрокоптерах DJI це програмне забезпечення називається ActiveTrack і вбудоване в додаток DJI Pilot Go 4 і програмне забезпечення Assistant для квадрокоптерів Phantom 4 і Mavic. Найновіший ActiveTrack 2.0 на квадрокоптері Mavic 2 може розпізнавати до 16 окремих об'єктів на екрані. Потім ви вибираєте об'єкт або людину, за якими слід стежити на екрані в додатку DJI Go 4.

#### Програмне забезпечення Drone Follow Me

Програмне забезпечення для програмування Follow Me зазвичай вбудоване в загальну програму дрона. DJI має свій додаток GO 4. Старіші 3DR-дрони, які більше не виробляються, використовували додаток SOLO, а дрон Arducopter своїми руками використовує програмне забезпечення Mission Planner .

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



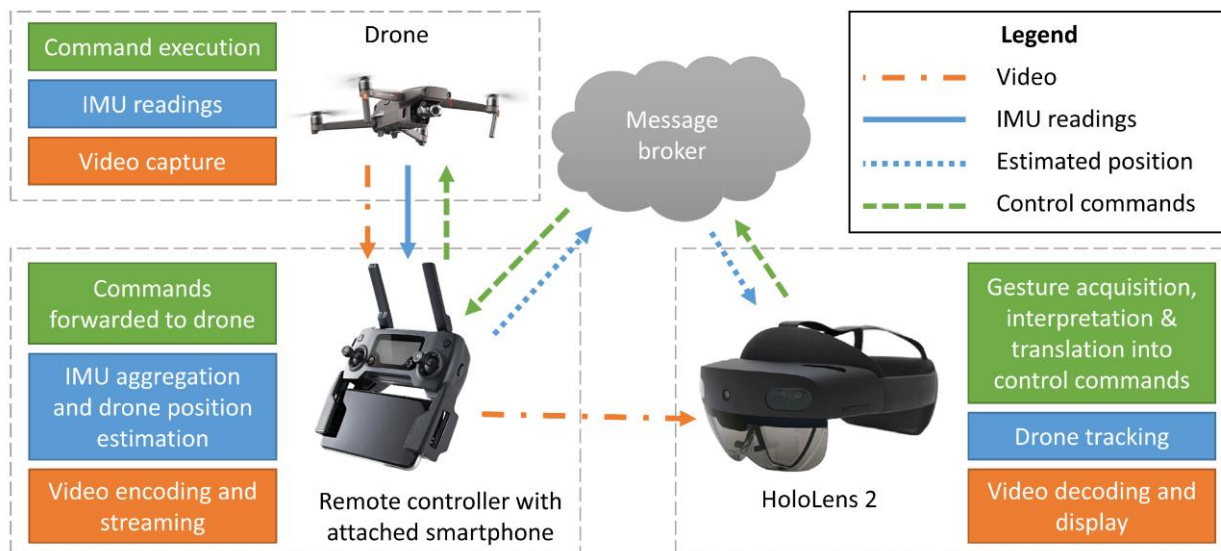


Рисунок 1.4 Технологія Follow Me

Інші виробники вбудовують програмне забезпечення режиму «слідуй за мною» в контролер наземної станції (GSC), наприклад Walkera. Декількома клацаннями миші ви програмуєте, що хочете стежити чи стежити.

Програмне забезпечення є досить складним і використовує алгоритми та обчислення для відстеження та постійного утримання об’єкта в полі зору. Більшість додатків Follow Me дозволяють запрограмувати підвіс і камеру з попередньо встановленими відстанями польоту, висотою та кутами, надаючи вашому відео унікальні кінематографічні перспективи.

#### Відстань за мною

Кожен виробник БПЛА використовує різні діапазони зі своєю технологією follow me. Ймовірно, найкраще тримати дистанцію короткою на початку, коли ви знайомитеся зі своїм дроном. Якщо між GSC і передавачем дозволено занадто велику відстань, вони можуть втратити зв’язок.

### 1.2 Огляд аналогів з використанням технології Follow Me

Режим «Слідуй за мною» означає функцію певних дронів, яка дозволяє їм автономно стежити за об’єктом, як правило, оператором дрона. Дрон використовує передові технології, такі як GPS, візуальне відстеження та датчики уникнення перешкод, щоб стежити за цільовою людиною. Це дозволяє дрону знімати динамічні кадри без використання рук під творчими кутами під час руху. Безпілотники «Follow me» чудово підходять для активних видів спорту,

відеоблогів у подорожах і будь-яких видів діяльності, де оператор перебуває в русі. Це усуває необхідність керувати дроном або мати спеціального оператора камери. Передова технологія робить дрони «Follow me» неймовірно корисним і зручним інструментом аерофотозйомки .

- Автоматичне слідування – дрон автоматично слідуватиме та утримуватиме об’єкт (зазвичай пілота з контролером) у кадрі без жодного введення.
- Інтелектуальне відстеження – використовуючи розпізнавання зору та/або GPS, дрон розумно відстежує та стежить за об’єктом, навіть якщо він швидко рухається.
- Уникнення перешкод – під час слідування дрон автоматично уникатиме перешкод, таких як дерева, стіни тощо, за допомогою датчиків.
- Налаштована відстань – зазвичай відстань відстеження можна налаштувати, щоб об’єкти були ближче чи далі.
- Фіксація висоти – дрон підтримуватиме постійну висоту під час слідування, а не підніматиметься та опускатиметься разом із рельєфом.
- Кілька режимів слідування . Деякі дрони пропонують різні режими слідування, як-от слід (слідує позаду), профіль (слідує поруч), веде (слідує попереду).
- Активація кнопкою – Follow me активується або деактивується натисканням кнопки на контролері.
- Безвідмовне повернення додому – якщо з’єднання втрачено, дрон перерве слідування, щоб повернутися до точки зльоту.
- Сумісність з іншими режимами – Follow-me може працювати в поєднанні з такими речами, як навігація за маршрутними точками та режими орбіти.
- Інтуїтивно зрозумілі елементи керування – дозволяє легко ініціалізувати та налаштувати автоматизоване спостереження на льоту.

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. GPS – безпілотник і контролер пов'язані через GPS, щоб підтримувати фіксацію цільового розташування, щоб слідувати на заданій відстані та висоті.
2. Візуальне відстеження – комп'ютерне бачення та бортові камери дозволяють дрону візуально ідентифікувати та відстежувати об'єкт. Деякі системи використовують розпізнавання кольорів або інфрачервоні маркери на цілі.
3. Уникнення перешкод – такі датчики, як ультразвукові, інфрачервоні чи камери глибини, виявляють перешкоди, дозволяючи дрону маневрувати навколо них, слідуючи за ціллю.
4. Попередньо запрограмовані маневри – шаблони польоту, як-от рух по орбіті, випередження чи фіксовані кути, можна попередньо запрограмувати в режимах Follow Me.
5. Алгоритми автопілота – передові автопілоти зі штучним інтелектом керують діями дрона, щоб забезпечити плавне, безпечне й автономне слідування за об'єктом.

Координація цих систем у режимі реального часу дозволяє безпілотникам «Follow me» розумно стежити за об'єктами, уникаючи зіткнень і залишаючись на меті. Складність цих технологій продовжує швидко розвиватися.

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 Порівняння аналогів

ДРОН	РОЗДІЛЬНА ЗДАТНІСТЬ КАМЕРИ	ЧАС ПОЛЬ ОТУ	ДІАПАЗОН	ЦІНА	РЕЙТИНГ РЕКОМЕ НДАЦІЙ
Skydio 2	4К 60 кадрів в секунду	23 хв	6,2 милі	999 доларів США	★★★★★
<a href="#">DJI Mavic Air 2</a>	4К 60 кадрів в секунду	34 хв	6,2 милі	799 доларів США	★★★★
<a href="#">DJI Mavic3</a>	5.1К 60fps	46 хв	15 миль	2199 доларів США	★★★★
Autel Evo	4К 60 кадрів в секунду	30 хв	4,3 милі	1199 доларів США	★★★
Simrex X20	4К 30 кадрів в секунду	20 хв	2,5 милі	489 доларів США	★★
JJRC X5 Epic	720p 30 кадрів в секунду	7 хв	98 футів	79 доларів США	★

### 1.3 Огляд обраного методу реалізації

У 2024 році технологія «Слідуй за мною» в дронах зробила значний крок вперед, відкривши неймовірні нові творчі можливості для легкої зйомки під час спорту, подорожей та інших видів діяльності. Провідні виробники споживчих дронів продовжують лідирувати з компактними, але потужними моделями, які забезпечують плавне, стабільне відстеження знімків завдяки вдосконаленим системам уникнення перешкод і алгоритмам відстеження об'єктів із підтримкою штучного інтелекту. Найнадійніші варіанти забезпечують відеозйомку професійного рівня завдяки збільшеному часу польоту, камерам високої роздільної здатності та майже бездоганним можливостям автономного відстеження.

Для ентузіастів тепер є потужні безпілотні літальні апарати середньої дальності, які мають такі розширені функції, як автоматичне відстеження об'єкта зйомки та запобігання зіткненням, у категорії до 500 доларів. Хоча моделі високого класу все ще лідирують за загальним досконалістю та продуктивністю, ключові можливості просуються вниз до продуктів середнього рівня. Для будь-якого бюджету чи сценарію використання, ймовірно, є надійний варіант безпілотника .

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ДРОНОМ ЧЕРЕЗ КООРДИНАТИ З GPS

### 2.1 Створення серверу Wi-Fi на Raspberry Pi Zero дроні для збереження даних

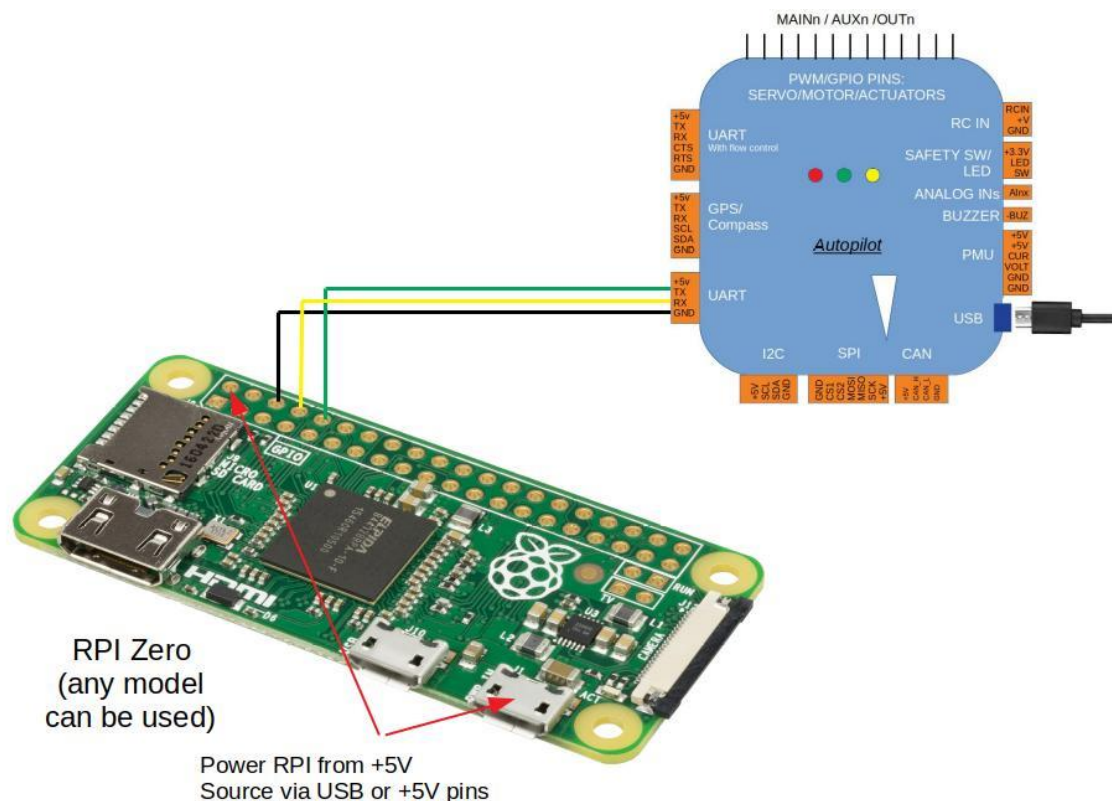


Рисунок 2.1 Підключення raspberry PI та льотного модуля

Підключіть порт TELEM2 контролера польоту до контактів Ground, TX і RX RPі, як показано на зображенні вище. Додаткову інформацію про окремі функції контактів RPі можна знайти .

RPі можна жити, підключивши джерело +5 В до контакту +5 В **або** через USB-вхід.

Додаткові плати, такі як Pi-Connect, можуть спростити підключення RPі, забезпечивши порт джерела живлення та телеметрії.

Залежно від моделі RPі, що використовується, і використовуваних внутрішніх/зовнішніх периферійних пристроїв, вимоги до живлення +5 В можуть варіюватися від 80 мА до 2,5 А. Необхідно оцінити бюджет потужності для конкретної конфігурації системи, щоб визначити вимоги до струму живлення +5

					123.KI-41.15	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В. Зазвичай не рекомендується подавати +5 В через роз'єм порту TELEM контролера польоту.

Підключіться до контролера польоту за допомогою наземної станції (тобто Mission Planner) і встановіть такі параметри:

- SERIAL2\_PROTOCOL = 2 (за замовчуванням), щоб увімкнути MAVLink 2 на послідовному порту.
- SERIAL2\_BAUD = 921, тому контролер польоту може спілкуватися з RPi на швидкості 921600 бод.
- LOG\_BACKEND\_TYPE = 3, якщо ви використовуєте AP\_SYNC для потокової передачі файлів журналу dataflash на RPi

Якщо ще не налаштовано, послідовний порт Raspberry Pi (UART) потрібно буде увімкнути. Для цього використовуйте утиліту налаштування Raspberry Pi.

тип:

```
sudo raspi-config
```

І в утиліті виберіть «Параметри інтерфейсу»:

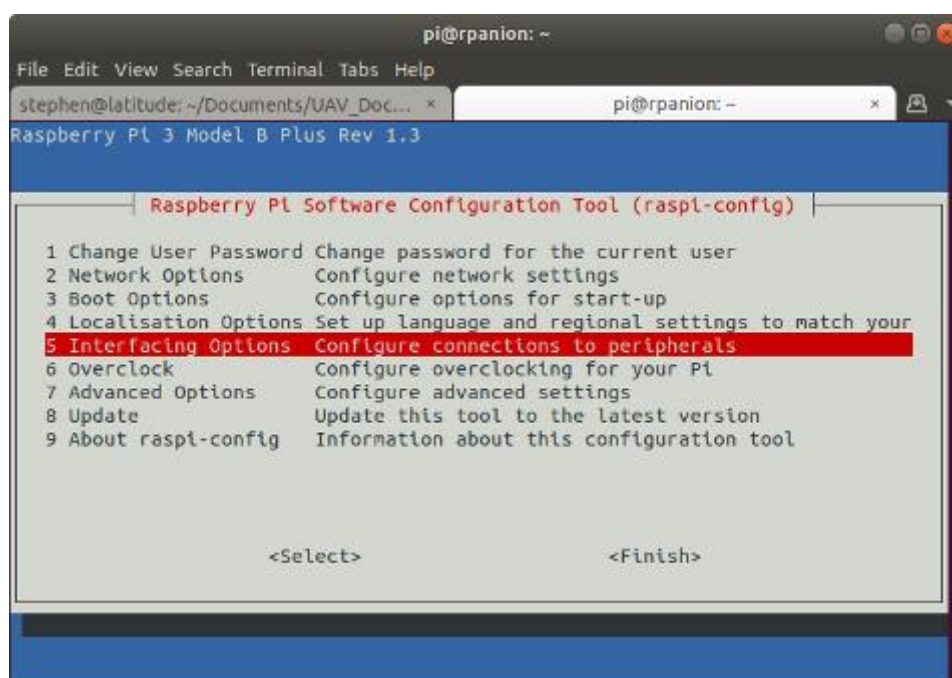


Рисунок 2.2 Утиліта RasPiConfiguration

						123.KI-41.15	Арк.
							22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

А потім «Серійний»:

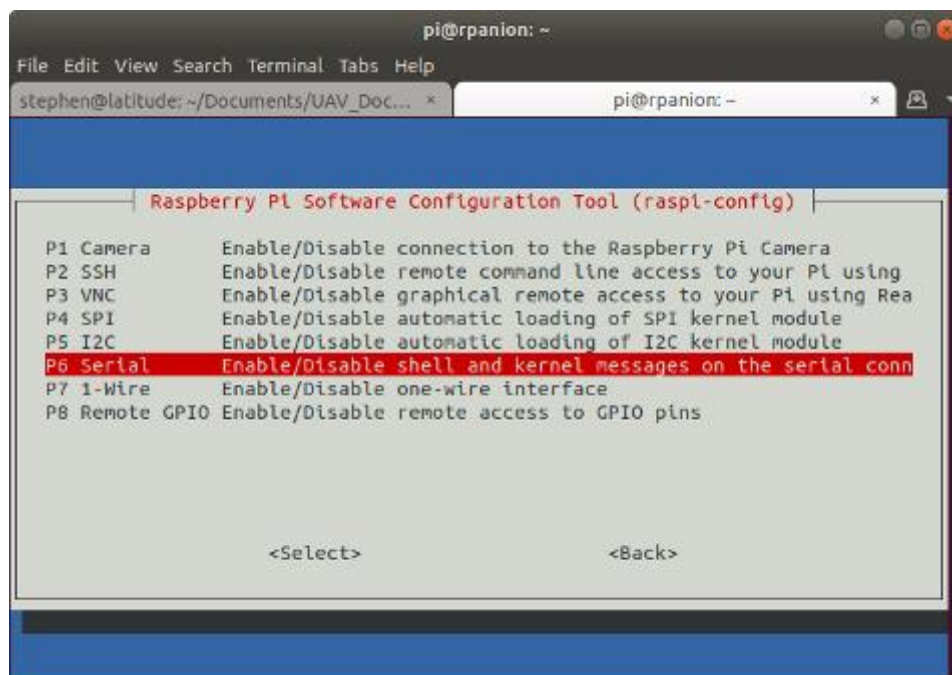


Рисунок 2.3 Налаштування

Коли буде запропоновано, виберіть  по «Чи бажаєте ви, щоб оболонка входу була доступна через послідовний порт?».

Коли з'явиться запит, виберіть  yes «Чи бажаєте ви, щоб апаратне забезпечення послідовного порту було ввімкнено?».

Перезавантажте Raspberry Pi, коли закінчите.

Послідовний порт Raspberry Pi тепер можна використовувати на .

За бажанням Wi-Fi Raspberry Pi можна налаштувати для створення точки доступу Wi-Fi. Це дозволить іншим клієнтам підключатися до RPi та транслювати телеметрію. Докладніше див. в офіційній документації RPi .

Вбудований Wi-Fi на Raspberry Pi не має великого діапазону. Якщо радіус дії є проблемою, розгляньте USB-адаптер Wi-Fi із зовнішньою антеною.

Є кілька різних варіантів програмного забезпечення для зв'язку з контролером польоту. Усі вони використовують для зв'язку протокол MAVLink.

Найпростіший спосіб настроїти RPi — це прошити один із наявних образів APSync :



- Придбайте відформатовану SD-картку на 8 ГБ або 16 ГБ (16 ГБ краще, тому що деякі картки на 8 ГБ будуть недостатньо великими, щоб помістити зображення) і вставте її в слот SD-карти свого ноутбука/настільного комп'ютера.
  - Завантажте найновіше зображення з [firmware.ardupilot.org](http://firmware.ardupilot.org) . Знайдіть файл, який починається з «arsync-гі».
  - Використовуйте програмне забезпечення Etcher , щоб завантажити зображення на картку micro SD.
  - Вставте картку micro SD у слот для картки micro SD на Pi
- На форумах є новіша версія APSync для RPі .  
У образі APSync уже буде ввімкнено послідовний порт (UART).

MAVProху можна використовувати для надсилання команд до контролера польоту з Pi. Його також можна використовувати для маршрутизації телеметрії до інших кінцевих точок мережі.

Це припускає, що у вас є підключення SSH до Pi. Якщо ні, перегляньте документацію RPі .

Перегляньте документацію MAVProху для отримання інструкцій зі встановлення

Щоб перевірити здатність RPі та польотного контролера спілкуватися один з одним, спочатку переконайтеся, що RPі та польотний контролер увімкнено, а потім у консолі типу RPі:

```
python3 mavproxу.py --master=/dev/serial0 --baudrate 921600 --aircraft
MyCopter
```

Після запуску MAVProху ви зможете ввести наступну команду, щоб відобразити `ARMING_CHECK` значення параметрів

```
param show ARMING_CHECK
param set ARMING_CHECK 0
arm throttle
```

```

pi@raspberrypi: ~
login as: pi
pi@192.168.137.69's password:
Linux raspberrypi 3.6.11+ #474 PREEMPT Thu Jun 13 17:14:42 BST 2013 armv6l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Thu Feb 20 11:21:49 2014 from 192.168.137.1
pi@raspberrypi ~ $ sudo -s
root@raspberrypi:/home/pi# mavproxy.py --master=/dev/ttyAMA0 --baudrate 57600 --
aircraft MyCopter
MyCopter/logs/2014-02-20/flight5
Logging to MyCopter/logs/2014-02-20/flight5/flight.tlog
no script MyCopter/mavinit.scr
Loaded module log
MAV> UNKNOWN> Mode UNKNOWN
APM: ArduCopter V3.2-dev (98bdbb7f)
APM: PX4: 63bac168 NuttX: 55657316
APM: PX4v2 2E001A00 09473234 33353231
Received 346 parameters
Saved 346 parameters to MyCopter/logs/2014-02-20/flight5/mav.parm
STABILIZE> Mode STABILIZE
MAV> param show ARMING_CHECK
ARMING_CHECK      1.000000
STABILIZE> param set ARMING_CHECK 0
STABILIZE> arm throttle
STABILIZE> APM: command received:
APM: GROUND START
APM: Initialising APM...
APM: Calibrating barometer
APM: barometer calibration complete
Got MAVLink msg: COMMAND_ACK {command : 400, result : 0}
STABILIZE> mode loiter
STABILIZE> LOITER> Mode LOITER

LOITER> █

```

Рисунок 2.4 Уведення необхідних команд

Якщо ви отримуєте повідомлення про те, що не вдається знайти файли журналу, або якщо цей приклад не виконується належним чином, переконайтеся, що ви випадково не призначили цим файлам інше ім'я користувача, наприклад Root.

Щоб запустити MAVProху як телеметричний маршрутизатор на Pi, налаштуйте його на роботу як службу та використовуйте параметри `--daemon` і `--non-interactive`.

Наприклад:

```
mavproxy.py --daemon --non-interactive --default-modules='' --continue --master=/dev/serial0 --baudrate 1500000 --out=udp:pro:14550
```

Якщо Raspberry PI сильно завантажений, mavпроху.py може не забезпечити надійне з'єднання для маршрутизації телеметрії. Це більш імовірно на старих/повільніших пристроях, таких як Raspberry PI Zero. Якщо це станеться, подумайте про використання mavlink-routerd. Перегляньте цю публікацію на форумі ArduPilot для детального обговорення: MavLink Routing with Router software .

Маршрутизатор Mavlink використовується для маршрутизації телеметрії між послідовним портом RPi та будь-якими кінцевими точками мережі. Перегляньте документацію , щоб отримати інструкції з встановлення та запуску.

```
/etc/mavlink-router/main.conf
```

Після встановлення відредагуйте розділ UART конфігураційного файлу mavlink-router таким чином:

```
[UartEndpoint to_fc]  
Device = /dev/serial0  
Baud = 921600
```

Вам також потрібно буде додати додаткову кінцеву точку UDP, щоб інші наземні станції в тій же мережі могли підключатися до Pi. Відредагуйте конфігураційний файл mavlink-router 

```
/etc/mavlink-router/main.conf
```

 , щоб включити:

```
[UdpEndpoint to_14550_external]  
Mode = eavesdropping  
Address = 0.0.0.0  
Port = 14550  
PortLock = 0
```

						123.KI-41.15	Арк.
							26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

mavr2p — це гнучкий і ефективний проксі/міст/маршрутизатор Mavlink, реалізований у вигляді утиліти командного рядка. Функціонуючи як маршрутизатор MAVProху, mavr2p може замінити MAVProху на комп'ютерах-супутниках з обмеженими ресурсами. mavr2p має попередньо зібрані двійкові файли для більшості поширених архітектур Raspberry PI. MAVr2p .

Найновіші інструкції щодо встановлення DroneKit на Linux містяться в документації DroneKit-Python.

Rpanion-сервер — це веб-графічний інтерфейс користувача для налаштування телеметрії контролера польоту, журналювання, потокового відео та налаштування мережі.

Установка через образ диска:

- Придбайте відформатовану картку micro SD об'ємом 8 ГБ (або більше) і вставте її в слот SD-карти свого ноутбука/настільного комп'ютера.
- Завантажте останнє зображення .
- Використовуйте програмне забезпечення Etcher , щоб завантажити зображення на картку micro SD.
- Вставте картку micro SD у слот для картки micro SD на Pi

Образ Rpanion-сервера матиме вже ввімкнений послідовний порт (UART).

Контролер польоту відповідатиме на команди MAVLink, отримані через порти Telemetry 1 і Telemetry 2 , що означає, що можна підключити як RPi, так і звичайну наземну станцію (тобто планувальник місій тощо). Крім того, можна підключити Mission Planner до програми MAVProху, що працює на RPi, подібно до того, як це робиться для SITL .

Насамперед це означає додавання до команди запуску MAVProху адреси ПК, на якому запущено планувальник місій. У Windows можна використовувати для визначення цієї IP-адреси. На комп'ютері, використаному для написання цієї вікі-сторінки, команда MAVProху стала такою: `--out <ipaddress>:14550ipconfig`

```
mavproxy.py --master=/dev/ttyAMA0 --baudrate 57600 --
out 192.168.137.1:14550 --aircraft MyCopter
```

					123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Підключення до планувальника місії показано нижче:



Рисунок 2.5 Перевірка встановлення зв'язку з дроном

## 2.2 Алгоритм керування дроном через координати з GPS

Відтоді як Dà-Jiāng Innovations (DJI) випустила нову DJI XP3.1 (систему керування польотом) [1], її багатороторний безпілотник характеризується зависанням, плануванням маршруту, порівняно низькою ціною та легкістю керування. використовувати [3]. Ці фактори призвели до швидкого розвитку дронів на ринку споживчих дронів для селфі.

На даний момент вони використовуються в усьому світі для аерофотозйомки навколишнього середовища або спостереження. Однак під час неконтрольованого управління польотом безпілотників було багато нещасних випадків, як у країні, так і за кордоном. Новини включають вплив на навігаційну зону, вплив на відомі будівлі та жах політичних діячів, і найбільше занепокоєння щодо безпілотників полягає в тому, що люди або терористи можуть модифікувати їх, щоб змусити їх нести небезпечні бомби, або самі використовувати транспортні засоби. як надзвичайно небезпечні пристрої для нападу на бомби.

Потенційна небезпека дронів є актуальною проблемою [5], тому країни почали запроваджувати суворі правила щодо управління рухом дронів і навіть впроваджувати правила заборони польотів. Федеральне авіаційне управління (FAA), аналогічні органи Китаю та Тайваню розробили сценарії використання системи безпілотників. Крім того, з метою запобігання та контролю непристойних вторгнень безпілотників, дослідження багатьох AUDES поступово перетворилися на міжнародну дослідницьку тему [7]. Існує багато подібних підходів AUDES, таких як атаки підробки, відстеження та раннє попередження, виявлення, знищення та перешкоди сигналу [10].

Боєголовка з масштабованими ефектами, винайдена американськими військовими, запускає боєголовки та кидає сітки для атаки на ворожі дрони та інші технології боротьби з БПЛА, розроблені вченими. Серед них для раннього попередження та виявлення використовуються такі пристрої, як радар, супутники та тепловізори, які виявляють слід дрона з землі. Ці технології мають здійснювати негайне виявлення, попередження та відстеження дрона-вторгнення, а також забезпечувати повідомлення та інформаційну підтримку в режимі реального часу [12]Знищення дронів-зловмисників — це ще один вид підходу, який спочатку визначає місцезнаходження дронів, а потім знищує їх за допомогою ракет, лазерів чи іншої зброї. Прикладом такого підходу є система захисту з використанням лазера потужної енергії, розроблена турецькою компанією ASELSAN. Хоча метод атаки має ефект руйнування та залякування, існує ризик випадкового поранення людей, які знаходяться поблизу, якщо БПЛА буде збито. Ефективно перешкоджати зв'язку безпілотника-порушника методами електромагнітних перешкод; однак це також впливає на навколишні комунікації. Таким чином, недолік очевидний — це впливає на бездротовий зв'язок навколо цієї області. Це також вплине на якість життя.

Боєголовка з масштабованим ефектом — це техніка для швидкої та точної доставки сіті до віддаленої цілі за допомогою снаряда. Він включає в себе пускову установку, що містить сітку, катапультну пружину та знімну втулку. Ця сітчаста боєголовка може бути запущена з відповідного ствола за допомогою метального

					123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

або стисненого газу. Швидкість і обертання боєголовки будуть визначатися діаметром ствола. Коли боєголовка наближається до цілі, електронна панель управління активує серводвигун, а потім тягне шток центрального замка, щоб звільнити вугол. Потім пружина штовхає сітку, щоб націлитися на ціль і розтягнутися на цілі, що призводить до її захоплення.

Є багато повідомлень про проблеми з безпекою, спричинені інцидентами з дронами. Повідомляється про багато випадків, коли терористи по всьому світу використовують безпілотники для нападу на цілі. Таким чином, зростає ринок і наполеглива потреба в AUDS, що призводить до розвитку технологій AUDS. Однак, з обмеженими ресурсами, як розробити технології виявлення AUDS для цивільних цілей є дуже важливою темою дослідження. У цьому дослідженні пропонується двоосьовий поворотний механізм трасування, який використовує тепловізор і повнокольорову камеру.

За допомогою алгоритму ідентифікації зображення цей пристрій відстежує та блокує дрон. Пристрій відстежує безпілотник, поки дрон знаходиться в зоні видимості шляхом відстеження динамічних координат. Дев'ятиосьовий вимірювач орієнтації та лазерні рейнджери в пропонованому пристрої використовуються для вимірювання та розрахунку висоти польоту безпілотника. Сферичні координати використовуються для отримання даних про довготу та широту дрона. Завдяки безперервному фіксуванню динамічних координат дрона наземна станція управління організовує атакуючий дрон для ураження цільового дрона сітковою гарматою, лазерною гарматою або іншою зброєю, наприклад гвинтівками. На цьому етапі необхідна передача динамічних координат у режимі реального часу на штурмовик для швидкої погоні. У цьому документі пропонується інший підхід.

Конструкція зовнішніх елементів для запропонованого двоосьового поворотного пристрою в цьому дослідженні показана на малюнку 1 . Є дві осі: бічна вісь — вісь x (рискання), а поздовжня вісь — вісь y (крок). З обертанням повороту й кута руху зображення (зображення, отримане тепловізійною або повнокольоровою камерою) керуватиметься рухом. Зображення забезпечує

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

виявлення літаючого дрона з діапазоном кутів огляду 360° для повороту по напрямку та 180° для повороту по куту. Щоб покращити здатність виявлення дрона, всередині двоосьового механізму є рама механізму, яка оснащена пристроєм тонкого налаштування (три набори лазерних рейнджерів), дев'ятиосьовим вимірювачем орієнтації, тепловізором, камеру та повнокольорову камеру для захоплення зображень дроном і визначення положення. Механізм тонкого налаштування використовується для відстеження дрона, а лазерний рейнджер використовується для регулювання точності фокусування.

У фокусі зображення дрона та вимірюванні відстані, оскільки лінзи отримання зображення та лазерні рейнджери розташовані не на одній лінії, вимірювання відстані дроном для польоту на великій висоті потребує механізму точного налаштування фокусу. Спочатку фотографічний об'єктив приймається як точка фокусування в центрі кадру зображення, потім три лазерні рейнджери встановлюються близько до об'єктива, а потім механізм тонкого налаштування модифікується відповідно до фокусної відстані дрона, яку буде отримано за допомогою трасуючий пристрій, щоб точка попадання лазерного рейнджера на дроні перекривалася з точкою центру зображення. Антени GPS і LoRa розміщуються зовні пристрою відстеження через необхідність уникнути металевих перешкод і запобігти укріттю сигналу в товстому корпусі пристрою відстеження.

Метод виявлення висоти дрона: напрямок обертання та режим визначення кута двовісного пристрою відстеження базуються на значенні, отриманому дев'ятиосьовими вимірювачами положення. Таким чином, існує тісний зв'язок між розташуванням вимірювача атмосфери та точністю даних системи. Початкова точка визначення орієнтації компонентом визначення положення базується на попередньо встановленому положенні його власного модуля. Орієнтація зображення на екрані дрона заснована на русі об'єктива, тому чутливий компонент вимірювача позиції слід розташувати якомога ближче до об'єктива камери, щоб кутове відхилення було меншим. Після багатьох тестів ми виявили, що він має найкращий ефект, якщо помістити його під лінзу.

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31



Коли пристрій відстеження виявляє, що дрон увійшов у візуальне зображення екрана, система негайно відстежує зображення дрона на екрані за допомогою візуальної ідентифікації та обчислює відносне співвідношення між зображенням дрона та центральною точкою екран візуального зображення. Потім він виконує дії з відстеження цілі та фіксації позиції. Зображення дрона потрапляє в центральну точку  $(x_1, y_1)$  екрана візуального зображення пристрою відстеження, і лазерний рейнджер може вимірювати, коли безпілотний літальний апарат потрапляє в зону лазерної дальності. Значення відстані  $(r)$  від цілі отримується, а кут нахилу  $(\theta)$  обертового ступеня в цей час визначається дев'ятиосьовим вимірювачем орієнтації в апараті. Як показано в рівнянні , висота польоту  $h$  дрона може бути перетворена.

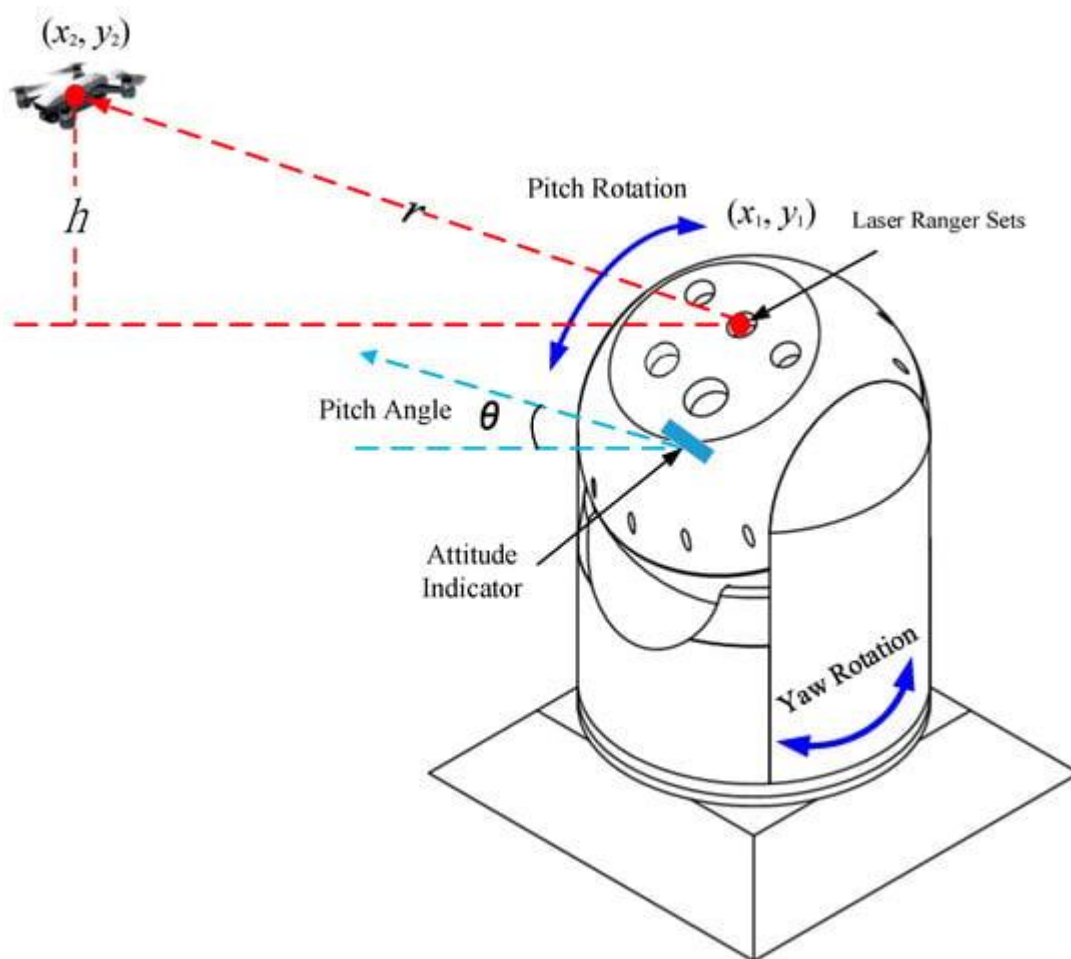


Рисунок 2.6 Принципова діаграма розрахунку висоти дрона на концентричній точці зображення оріентометром і лазерним рейнджером.

$$h = r \times \sin \theta = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \times \sin \theta = \sqrt{(2-1)^2 + (p_2 - p_1)^2} \times \sin \theta \quad (8)$$

Метод виявлення довготи та широти дрона, а також азимута: коли система відстеження фіксує цільовий дрон у положенні центральної точки  $(x_1, y_1)$   $(1, p_1)$  екрану зображення за допомогою трасування, безпілотник-мішень увійшов у діапазон лазерної дальності. Значення дальності та горизонтального кута місця дрона-мішені з місця випробувань можуть бути отримані лазерними рейнджерами та ургентометром двоосьового приладу, а потім довгота та широта, а також азимутальний кут (відносно північний кут), дрона можна проаналізувати.

У цій статті координати довготи та широти дрона [ 20 ] можна отримати за допомогою рівняння перетворення координат цілі. Схематична діаграма алгоритму визначення координат довготи та широти дрона-мішені показана на. Цей алгоритм застосовний для обчислення відстані між будь-якими двома точками на сферичній поверхні, де  $O$  — центральна точка сфери, а  $A$  і  $B$  — будь-які дві точки на сфері. Точка  $A$  представляє координати довготи та широти  $(W_A, J_A)$ , отримані за допомогою GPS у платформі двовісного відстеження, а точка  $B$  представляє невідомі координати довготи та широти  $(W_B, J_B)$  дрона, відстежуваного за допомогою двоосьова платформа трасування. Координати довготи та широти точки  $B$  можна отримати шляхом перетворення координат довготи та широти сфери [ 21 ]. Інші параметри такі:

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

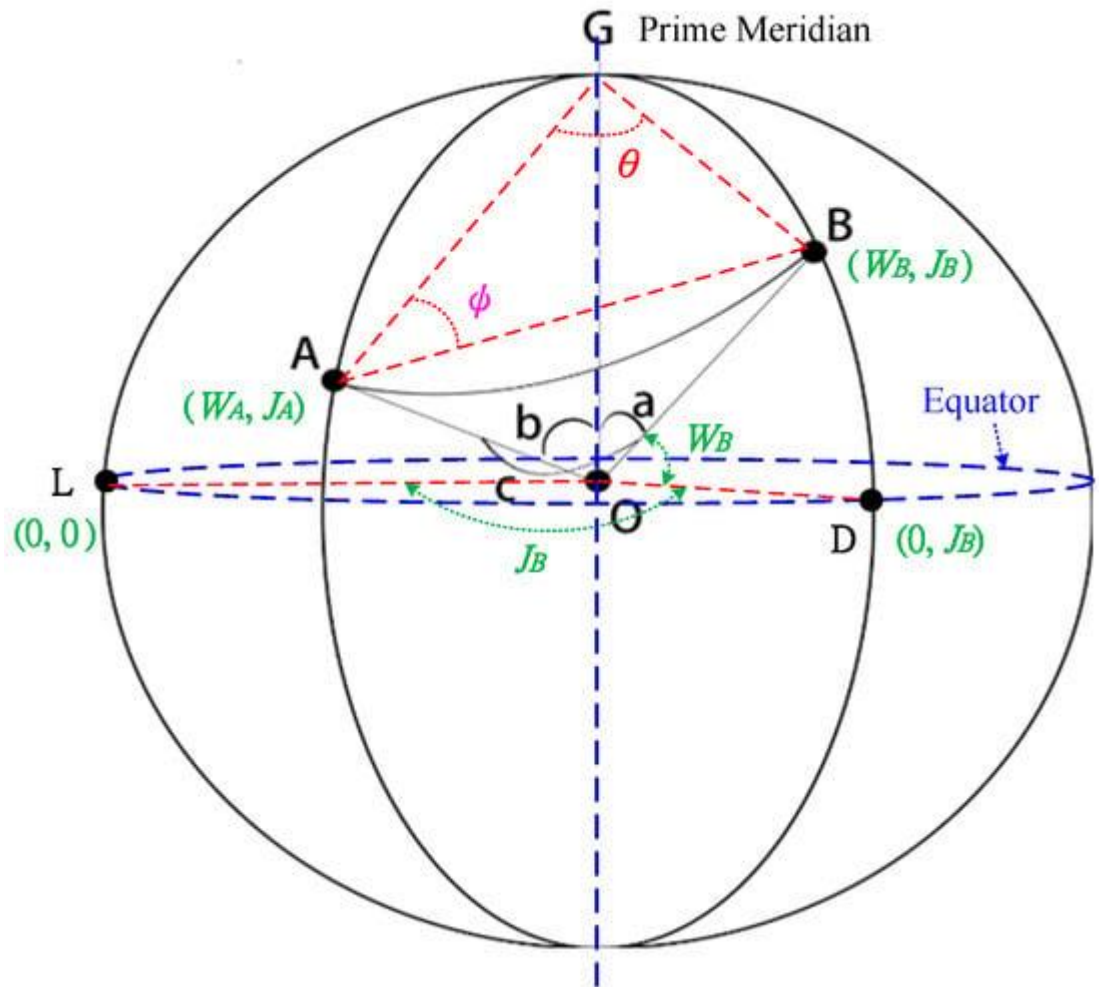


Рисунок 2.7. Принципова схема алгоритму координат сфери довготи та широти для дрона.

Точка G: Справжня північна позиція кулі; точка O: Центр сфери; R: Середній радіус Землі (~6371 км);

$(W_A, J_A)$ : значення довготи та широти точки A, отримані за допомогою GPS двоосьового пристрою;

$\psi$  (азимутальні кути точок A, B і G): отримані за допомогою магнітометра та гіроскопа дев'ятиосьового вимірювача орієнтації в двоосьовому пристрої;

$\angle a$ : Кут між двома точками B і G і з'єднанням із землею  $G O; GO^-$ ;

$\angle b$ : кут між двома точками A і G і з'єднанням із землею  $G O; GO^-$ ;

$\angle c$ : кут між двома точками A і B і з'єднанням із землею  $G O; GO^-$ ;

$\hat{A B A B}$ : Сферична відстань між двома точками A (двоосьовий пристрій) і B (розташування дрона в повітрі); тобто довжина малої дуги  $\hat{A B A B}$  на дузі, утвореній перетином площин, що проходять через три точки A, O і B, і кулі.

					123.KI-41.15	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\angle c$  – метричний кут:

$$\angle c = \frac{AB}{R} \times 1800 \pi. \angle v = \frac{AB^P}{R} \times 1800. \text{ 9)}$$

Оскільки сферична відстань між точкою А (двоосьовий пристрій) і точкою В (розташування дрона в повітрі) набагато менша за довжину R, сферична відстань  $\frac{AB}{R}$  між двома точками можна приблизно визначити як лінійну відстань між двома точками  $\frac{AB^P}{R}$ , тому рівняння (9) можна виправити так:

$$\angle c = \frac{AB^P}{R} \times 1800 \pi. \angle v = \frac{AB^P}{R} \times 1800. \text{ 10)}$$

$\angle a$  та  $\angle \theta$  можна перетворити за координатами довготи та широти сфери [ 21 ], і рівняння (11) та рівняння (12) можна отримати наступним чином,

$$\angle a = \cos^{-1}(\sin A_w \times \cos \angle c + \cos A_w \times \sin \angle c \times \cos \psi), \angle = \cos^{-1}(\sin A_w \times \cos \angle v + \cos A_w \times \sin \angle v \times \cos \psi), \text{ (11)}$$

$$\angle \theta = \sin^{-1}(\sin c \times \sin \psi \sin a). \angle = \sin^{-1}(\sin v \times \sin \psi \sin a). \text{ (12)}$$

Оскільки висота польоту дрона в точці В знаходиться в межах кількох кілометрів над землею, відстань між двома точками А і В і точкою О центру Землі можна вважати однаковою, а  $\angle \theta$  можна розглядати як різниця довготи між двома точками А і В. Таким чином, значення довготи і широти точки В ( $W_B, J_B$ ) є координатами довготи і широти дрона, де:

$$J_B = J_A + \angle \theta. D_{жБ} = D_{жА} + \angle. \text{ (13)}$$

Як описано вище, значення довготи та широти дрона, що летить у повітрі, які фіксуються двоосьовим пристроєм, і висота польоту h можуть бути розраховані та отримані, а потім передані по бездротовому зв'язку в наземний центр управління для завдань атаки. прямого нападу або відстеження та захоплення.

### 3. УТОЧНЕННЯ НАПРЯМКУ НА КЛІЄНТА ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ BLUETOOTH (НА МАЛІЙ ВІДСТАНІ)

#### 3.1 Як зробити вивід для зовнішньої антени

##### Радіоприймач



Ваш вибір радіопередавача визначає тип приймача (RX), який ви можете використовувати

Численні виробники виробляють модулі приймачів і передавачів для ExpressLRS. Він забезпечує чудову продуктивність і постійно залишається в наявності.

##### Інше обладнання

Щоб керувати квадрокоптером у FPV, знадобляться такі аксесуари.

Радіопередавач : радіопередавач необхідний для керування дроном. оскільки вони обидва пропонують відмінне співвідношення ціни та якості.

Аналогова система FPV : окуляри FPV дозволяють переглядати відео в режимі реального часу з вашого дрона. [Щоб отримати вказівки, зверніться до мого Посібника покупця окулярів FPV](#) . Найпопулярнішими аналоговими окулярами FPV на даний момент (листопад 2023) є окуляри [HDZero FPV Goggles](#) ), оскільки вони також підтримують кілька систем FPV. Якщо ви просто хочете здійснювати

											123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								36

аналогові польоти та економити гроші, наступним кращим вибором буде [Skyzone SKY04X](#). Якщо обмежений бюджет, [Skyzone Cobra X \(огляд\)](#) пропонує фантастичну вартість як доступний варіант «коробкових окулярів».

- Система DJI FPV: щоб використовувати систему DJI FPV, вам знадобиться пара [окулярів DJI FPV \(огляд\)](#). Вибирайте V2, оскільки вони також підтримують найновіші DJI O3 Air Unit, а також аналогові.
- LiPo батареї: для цієї збірки ідеально підійдуть LiPo батареї 6S 1000mAh-1300mAh. [Перегляньте мої рекомендації LiPo тут](#). Обов'язково ознайомтеся з акумуляторами LiPo за допомогою [цього Посібника покупця акумуляторів](#), оскільки неправильне поводження може бути небезпечним.
- Зарядний пристрій: нарешті, вам знадобиться зарядний пристрій. Для вашої зручності я склав список рекомендованих зарядних пристроїв LiPo. Обов'язково прочитайте, як вибрати LiPo зарядні пристрої та блоки живлення.

### 3.2 Вибір антени

Компонент, який використовується для перетворення електричних відеосигналів у радіосигнали та трансляції сигналу, є FPV-антена. Крім того, він приймає повітряні радіосигнали та перетворює їх назад на електричні візуальні сигнали. І передавач відео FPV, і приймач відео мають встановлену антену FPV. І VTX, і VRX не можуть ефективно функціонувати без антен.

Активний елемент, коаксіальний кабель і роз'єм - це три компоненти, які складають антену FPV. Активний елемент є основним елементом для радіопередачі та прийому; для підключення VTX або VRX необхідний роз'єм; тоді як коаксіальний кабель лише з'єднує їх.

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.1 Приклад антени

Антени передавача та антени приймача потрібні для будь-чого бездротового зв'язку. Wi-Fi, Bluetooth та інші бездротові технології на наших смартфонах мають передавальну та приймальну антени.

Антенa передавача та антенa приймача еквівалентні в квадрокоптері. Але має значення, який тип використовується на передавачі та приймачі.

У нашому прикладі антени передавача вловлюють відеосигнали та перетворюють їх на радіохвилі, які є електромагнітним випромінюванням. Коливаючись вперед і назад, антени виконують завдання перетворювати електричні сигнали в електромагнітне випромінювання.

Приймальна антенa декодує цей переданий сигнал і перетворює радіохвилі назад в електричні імпульси. Тому ефективність передачі відео безпосередньо залежить від FPV антени.

Дві основні класифікації антен - всенаправлені та двонаправлені. Хоча їхні методи роботи відносно подібні, спосіб передачі сигналу значно відрізняється.

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

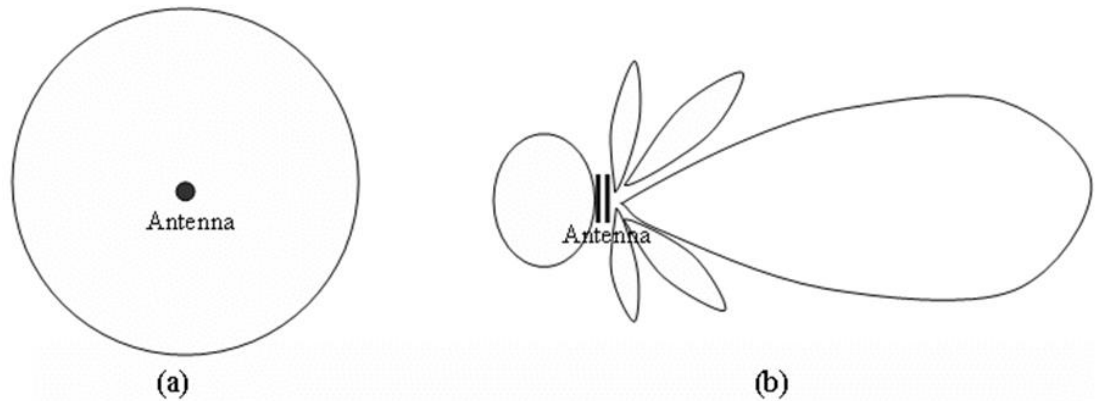


Рисунок 3.2 Позиції радіохвиль

Радіохвилі транслюються спрямованими антенами в промені, який зазвичай становить 120 градусів або менше. Таким чином, приймальна антена не приймає жодних сигналів, якщо передавальна антена не знаходиться в зоні прийому 120°, що більше схоже на сфокусований промінь ліхтарика.

Однак всеспрямовані антени передають у всіх напрямках, більше схожі на електричну лампочку, тому незалежно від того, де та як розташована передавальна антена, приймальна антена завжди отримує частину відеосигналу, якої в деяких випадках достатньо для керування вашим квадроцикл із біди.

Гвинтова антена зазвичай використовується для далекобійних квадроциклів, коли орієнтація передавальної та приймальної антен невелика. Навпаки, патч-антени використовуються для прийому сигналів, коли квадроцикл знаходиться прямо перед вами та в межах 120°.

### Монопольна антена

Монопольна антена – це тип антени FPV, у якій використовується площина заземлення, яка є провідною поверхнею, розташованою перпендикулярно над прямим провідником у формі стержня. Оскільки вони забезпечують спрямовану спрямованість випромінювання, монопольні антени часто вибирають для зв'язку



«точка-точка». Вони добре відомі тим, що витримують вітер і дощ, а також здатні працювати з сильними радіочастотами.



Рисунок 3.3 Монопольна антена

### Дипольна антена

Два ідентичних провідних компонента, наприклад металеві дроти або стрижні, часто зустрічаються в дипольних антенах. Приймальні антени живляться від струму руху від передавача або від вихідного сигналу від приймача. Обидва струми, що протікають у дротах або стрижнях, отримують рушійний струм. Сила, створена цим потоком струму, утримує два стрижні або дроти разом.



Рисунок 3.4 - Дипольна антена

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

## Патч антена

Патч-антена - це низькопрофільна антена, яку можна встановити на поверхню. Він складається з плоского листа або «латки» металу, металеві фольги або пластику, який може мати будь-яку геометричну форму, включаючи трикутну, довгасту та прямокутну.

Він може передавати і приймати сигнали завдяки своїй всенаправленій діаграмі спрямованості. У секторах військової та комерційної авіації часто використовуються патч-антени та стільниковий і супутниковий зв'язок.



Рисунок 3.5 Патч антена

## Ключові характеристики FPV антени

### Поляризація антени

Поляризація антени буває двох видів: лінійна та кругова. Основною відмінністю між лінійною та круговою поляризаціями є те, як їхні окремі хвилі поширюються з точки зору діаграми спрямованості. Хвиля проектується вздовж однієї площини, вертикальної або горизонтальної, за допомогою лінійної антени. Оскільки хвиля поширюється лише в одному напрямку, така поляризація дає змогу передавати більше енергії. Труднощі лінійної хвилі з навігацією навколо об'єкта, який знаходиться в площині її поширення, однак, зменшує проникнення перешкод. Антенною з круговою поляризацією випромінюється штопороподібна хвиля, яка періодично обертається як у вертикальній, так і в горизонтальній площині.

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Лівостороння кругова поляризація та права кругова поляризація є двома іншими категоріями кругової поляризації. Розглядайте LHCP і RHCP як аналоги різьби гвинта. Антена з круговою поляризацією передає радіохвилі, які зазвичай обертаються за годинниковою стрілкою (праворуч) або проти годинникової стрілки (ліворуч), коли вони прямують у напрямку приймальної антени. Лише інші антени RHCP і навпаки можуть належним чином вловлювати сигнали, створені антенами RHCP.

### **Посилення антени**

Радіус дії та кут охоплення спрямованої антени позначаються посиленням антени. Він вимірює різницю в потужності між антеною та ізотропним випромінювачем, який є гіпотетичною антеною, яка випромінює рівномірно в усіх напрямках. Що стосується посилення антени, використовуються децибели, або дБ.

Загалом, вищий коефіцієнт посилення призводить до меншої ширини променя, але більшого діапазону. Діаграма спрямованості може бути змінена коефіцієнтом підсилення антени, як показано в таблиці даних антени. Щоб досягти кращого покриття всюди навколо дрона, вам слід використовувати антени VTX дрона з меншою потужністю, які є всеспрямованими. Щоб отримати найкраще від обох світів антен VRX, вам слід поєднати всеспрямовані антени з низьким коефіцієнтом посилення та спрямовані антени із середнім/високим посиленням. Також прийнятно використовувати на вашому відеоприймачі всеспрямовані антени з низьким коефіцієнтом посилення, якщо ви не подорожуєте на великі відстані.

Важливо пам'ятати, що кожні 3 дБ посилення вашої антени еквівалентно потроєнню потужності вашого передавача при роботі з децибелами. Наприклад, перехід на нову антену з відеопередавачем потужністю 200 мВт і отримання посилення на 6 дБ схожий на перехід на відеопередавач потужністю 800 мВт, який може подвоїти ваш діапазон! (6 дБ = 3 дБ плюс 3 дБ = два подвоєння = 4x, або 200 мВт x 4 = 800 мВт).

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Частота

FPV антена завжди налаштована на певну радіочастоту. Для радіозв'язку та відеозв'язку, відповідно, 2,4 ГГц і 5,8 ГГц є двома частотами, які найчастіше використовуються в квадрокоптерах. Кількість довжин хвиль, через які хвиля коливається за секунду, вимірюється в герцах (Гц; одиниця: Гц). Уявіть, що хустку витягують і різко трясуть зліва направо. Частина обтяжки регулярно трясеться, коли вона рухається вниз по своїй довжині, піднімаючись і опускаючись, перш ніж розпочати цикл заново. Одна довжина хвилі - це відстань між двома вершинами та вершинами. Коли польоти на великі відстані є пріоритетними, нижчі радіочастоти, наприклад 915 МГц, часто використовуються для радіоуправління та передачі відео.

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

Грунтуючись на наданою інформацією, можна виділити такі основні висновки для кваліфікаційної роботи:

1. Вибір компонентів FPV дрона є критичним етапом, який визначає його функціональність та продуктивність. Необхідно ретельно вивчати характеристики камер, моторів, регуляторів обертів, передавачів та приймачів для створення оптимальної конфігурації.
2. Процес збирання FPV дрона вимагає технічних навичок, терпіння та уваги до деталей. Правильне монтування рами та базової електроніки, дотримання рекомендацій виробників та врахування особливостей конфігураційного набору є ключовими моментами для забезпечення надійності та продуктивності літального апарату.
3. Програмне забезпечення, таке як Betaflight, Cleanflight та інші, відіграє критичну роль у функціонуванні FPV дрона. Належне налаштування програмного забезпечення, зокрема PID контролерів, є необхідним для досягнення оптимальної ефективності польоту.
4. Питання безпеки та дотримання законодавчих вимог є вкрай важливими для власників FPV дронів. Необхідно суворо дотримуватися правил польоту, уникати зон обмеженого доступу та застосовувати заходи безпеки.
5. Збереження позитивного іміджу користувачів дронів є ключовим аспектом. Відповідальне ставлення до експлуатації FPV дронів сприяє популяризації цієї технології та запобігає негативному сприйняттю громадськістю.

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Boh, W.F.; Lim, W.K.; Zeng, Y. Da Jiang Innovations (DJI): The rise of the drones. In The Asian Business Case Centre-Nanyang Technology University Singapore; Nanyang Technological University: Singapore, 2017; pp. 1–28. [Google Scholar]
2. Chin, K.S.H.; Siu, A.C.Y.; Ying, S.Y.K.; Zhang, Y. Da Jiang Innovation, DJI: The Future of Possible. Acad. Asian Bus. Rev. 2017, 3, 83–109. [Google Scholar] [CrossRef]
3. Diaz, T.J. Lights, drone... action. IEEE Spectr. 2015, 52, 36–41. [Google Scholar] [CrossRef]
4. Lort, M.; Aguasca, A.; López-Martínez, C.; Marín, T.M. Initial Evaluation of SAR Capabilities in UAV Multicopter Platforms. IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. 2018, 11, 127–140. [Google Scholar] [CrossRef]
5. Dempsey, P. View from Washington [News Comment]. Eng. Technol. 2015, 10, 14. [Google Scholar] [CrossRef]
6. Dempsey, P. View from Washington [News Briefing]. Eng. Technol. 2014, 9, 16. [Google Scholar] [CrossRef]
7. Kratky, M.; Minarik, V. The non-destructive methods of fight against UAVs. In Proceedings of the 2017 International Conference on Military Technologies (ICMT), Brno, Czech Republic, 31 May–2 June 2017; pp. 690–694. [Google Scholar]
8. Foreign Counter-Unmanned Aerial Systems: Developments in the International Arms Markets. Available online: <https://www.ida.org/research-and-publications/publications/all/f/fo/foreign-counter-unmanned-aerial-systems-developments-in-the-international-arms-markets> (accessed on 21 May 2019).
9. Ding, G.; Wu, Q.; Zhang, L.; Lin, Y.; Theodoros, T.A.; Yao, Y. An Amateur Drone Surveillance System Based on Cognitive Internet of Things. IEEE Commun. Mag. 2018, 56, 29–35. [Google Scholar]
10. About the Center for the Study of the Drone. Available online: <https://dronecenter.bard.edu/publications/counter-drone-systems/> (accessed on 21 May 2019).

					123.KI-41.15	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

11. Sebastain, P.; Andrei, L. Considerations Regarding Detection and Combat System for UAV's. Recent 2017, 18, 49–55. [Google Scholar]
12. Ramos, D.B.; Loubach, D.S.; da Cunha, A.M. Developing a distributed real-time monitoring system to track UAVs. IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag. 2010, 25, 18–25. [Google Scholar] [CrossRef]
13. Xu, Z.; Wei, R.; Zhao, X.; Wang, S. Coordinated Standoff Target Tracking Guidance Method for UAVs. IEEE Access 2018, 6, 59853–59859. [Google Scholar] [CrossRef]
14. Stary, V.; Krivanek, V.; Stefek, A. Optical detection methods for laser guided unmanned devices. J. Commun. Netw. 2018, 20, 464–472. [Google Scholar] [CrossRef]
15. Sheu, B.H.; Chiu, C.C.; Lu, W.T.; Lien, C.C.; Liu, T.K.; Chen, W.P. Dual-axis Rotary Platform with UAV Image Recognition and Tracking. Microelectron. Reliab. 2019, 95, 8–17. [Google Scholar] [CrossRef]
16. Honkavaara, E.; Eskelinen, M.A.; Pölonen, I.; Saari, H.; Ojanen, H.; Mannila, R.; Holmlund, C.; Hakala, T.; Litkey, P.; Rosnell, T.; et al. Remote Sensing of 3-D Geometry and Surface Moisture of a Peat Production Area Using Hyperspectral Frame Cameras in Visible to Short-Wave Infrared Spectral Ranges Onboard a Small Unmanned Airborne Vehicle (UAV). IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2016, 54, 5440–5454. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]
17. Yin, H.; Chai, Y.; Yang, S.X.; Yang, X. Fast-moving target tracking based on mean shift and frame-difference methods. J. Syst. Eng. Electron. 2011, 22, 587–592. [Google Scholar] [CrossRef]
18. Du, B.; Sun, Y.; Cai, S.; Wu, C.; Du, Q. Object Tracking in Satellite Videos by Fusing the Kernel Correlation Filter and the Three-Frame-Difference Algorithm. IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. 2018, 15, 168–172. [Google Scholar] [CrossRef]
19. Chen, P.; Dang, Y.; Liang, R.; Zhu, W.; He, X. Real-Time Object Tracking on a Drone with Multi-Inertial Sensing Data. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 2018, 19, 131–139. [Google Scholar] [CrossRef]

20. Chang, X.; Haiyan, X. Notice of Retraction-Using sphere parameters to detect construction quality of spherical buildings. In Proceedings of the 2010 2nd International Conference on Advanced Computer Control, Shenyang, China, 27–29 March 2010; Volume 4, p. 17. [Google Scholar]

21. Oraizi, H.; Soleimani, H. Optimum pattern synthesis of non-uniform spherical arrays using the Euler rotation. IET Microw. Antennas Propag. 2015, 9, 898–904. [Google Scholar] [CrossRef]

					‘ 123.KI-41.15	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		